



**Caixeiro Viajante com Janelas Temporais.
Aplicação ao caso da *Re-Food*.**

Mestrado em Matemática Aplicada à Economia e Gestão

Andreia Sofia dos Santos Semedo

Trabalho de Projeto orientado por:
Prof.^a Doutora Maria da Conceição da Fonseca

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de aqui expressar o meu profundo agradecimento a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiro e acima de tudo, agradeço a minha orientadora académica, Professora Doutora Maria da Conceição da Fonseca, pela disponibilidade, dedicação, apoio, atenção, paciência, pela partilha do saber e pelas preciosas contribuições feitas neste trabalho. Tendo-me dado ao longo deste trabalho a liberdade intelectual, e exigindo sempre o esforço e qualidade do mesmo. O que fez com que este trabalho se tornasse numa experiência gratificante. Agradeço igualmente à Coordenadora do Mestrado Professora Doutora Maria Teresa Alpuim pelo seu apoio e dedicação ao longo do mestrado.

Aos meus colegas e professores de mestrado, pelos momentos partilhados em conjunto.

Gostaria também de agradecer à organização *Re-Food* e à sua equipa de voluntários pois para além de prescindirem de algum do seu precioso tempo para me explicar e responder a algumas questões, eles forneceram uma atmosfera amigável e cooperativa e, também, *feedback* e observações úteis e perspicazes para o meu trabalho. Agradecimento especial para Joana Balda de Pinto, Otília Faria Sónia Pinto, Maria Emília e Paula Cruz responsáveis pelo núcleo de Telheiras, que não só autorizaram como apoiaram a realização do estudo, o meu muito obrigada.

Finalmente, gostaria de agradecer aos amigos e familiares que me apoiam e acreditam em mim. Em particular à minha mãe, Hirondina Ana dos Santos, pelo apoio incondicional e pela fé que têm em mim.

A todos vós dedico este trabalho.

RESUMO

Este trabalho de projeto apresenta um modelo matemático e uma heurística para a determinação das rotas feitas pela equipa de voluntários de *Re-Food* de Telheiras, uma organização portuguesa sem fins lucrativos constituída como IPSS (Instituição Particular de Solidariedade Social). Nesta organização uma equipa de voluntários tem que percorrer um circuito, iniciando e terminando no centro de operações passando por todos os parceiros alimentares apenas uma vez, respeitando as janelas temporais por eles estabelecidas.

Após a recolha de informação junto dos responsáveis da *Re-Food* e o acompanhamento das equipas de voluntários, verificou-se que estávamos perante um problema de determinação de rotas para um veículo com restrições adicionais de janelas temporais. Assim, este problema pode ser modelado como um problema do caixeiro viajante com restrições temporais. O veículo é a equipa de voluntários que terá que passar uma única vez por todos os parceiros alimentares com localizações geográficas diferentes, recolhendo os seus excedentes alimentares, iniciando e terminando no centro de operações. Tendo como restrições as janelas temporais imposta pelos parceiros alimentares.

Neste trabalho é apresentado o modelo matemático correspondente ao problema em estudo e apresenta-se uma heurística composta por duas fases: uma fase construtiva em que se obtém uma solução admissível e uma fase de melhoramento com uma etapa de destruição e de reconstrução da solução. Os dados reais disponibilizados pela *Re-Food* foram usados considerando o modelo. Geraram-se aleatoriamente dados simulando a realidade da *Re-Food*. Para estes dados obtiveram-se resultados quer considerando o modelo quer considerando a heurística.

Palavra-Chave: Problema do caixeiro viajante com janelas temporais, Programação Linear Inteira Mista, Métodos heurísticos.

ABSTRACT

This dissertation presents a mathematical model and a heuristic for determining the routes made by the team of volunteers of *Re-Food* Telheiras, a Portuguese non-profit organization incorporated as IPSS (Private Institution of Social Solidarity). In this organization a team of volunteers go through a circuit, starting and ending at the center of operations through all food partners only once, respecting the time frames established by them.

After collecting information from those in charge of Re-Food and monitoring the volunteer teams, it was considered that we were facing the problem of determining routes for a vehicle with time constraints. Therefore, this problem can be modeled as a traveling salesman problem with time window constraints. The vehicle is the team of volunteers who will have to go through all food partners with different geographical locations, collecting their food surpluses, starting and ending at the center of operations. There are temporal windows restrictions imposed by food partners.

In this thesis a mathematical model corresponding to the problem in study is presented and also a two-phase heuristic: in the first phase a feasible solution is obtained and in the improvement phase there is a destruction of the current solution followed by a reconstruction phase. The real data provided by *Re-Food* were used for the model. Random data was generated trying to simulate *the Re-Food* reality. For this data computational results were obtained both considering the model and the heuristic.

Keywords: Traveling Salesman Problem with time windows, Mixed Integer Linear Programming, Heuristic methods.

Índice

Índice Algoritmos	ix
Índice Imagens	ix
Índice Tabelas	ix
<i>Capítulo 1 – Introdução</i>	1
1.1 Relevância do Tema	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Organização do Trabalho de Projeto	5
<i>Capítulo 2 – Apresentação do Caso de Estudo</i>	7
2.1 História	7
2.2 Características da Organização	8
2.3 Descrição do Caso de estudo	11
2.3.1 Localização Geográfica	11
2.3.2 Características do Núcleo de Telheiras	12
2.3.3 Frota associada ao Núcleo de Telheiras	13
2.3.4 Descrição das Recolhas	15
<i>Capítulo 3 – Problema do Caixeiro Viajante</i>	25
3.1 Revisão da Literatura	26
3.2 Definição do Problema do Caixeiro Viajante	28
3.3 Aplicações Práticas do TSP	28
3.4 Metodologias aplicadas na resolução do TSP	32
3.4.1 Algoritmos exatos para o TSP	32
3.4.2 Algoritmos Heurísticos para o TSP	32
3.5 Variantes do TSP	36
3.5.1 Determinação de Rotas para veículos resolvido como um Problema de m- Caixeiro Viajante (<i>m-Traveling Salesman Problem</i>)	37

3.5.2	Problema do Caixeiro Viajante com Entregas e Recolhas (<i>Traveling Salesman Problem Pick up and Delivery</i> - TSPPD)	37
3.5.3	Problema do Caixeiro Viajante com Janelas Temporais (TSPTW)	37
3.5.4	Modelo Matemático para o TSPTW	38
<i>Capítulo 4 – Modelo e Métodos de Resolução para o caso de estudo</i>		41
4.1	Formulação do problema em estudo	41
4.2	Descrição da Heurística usada	46
<i>Capítulo 5 - Apresentação e discussão dos resultados</i>		49
5.1	Resultados - Modelo Matemático	49
5.2	Geração de dados	57
5.3	Resultados obtidos	59
<i>Capítulo 6 - Conclusões</i>		61
ANEXOS		63
Referencias Bibliográficas		69

Índice Algoritmos

Algoritmo 1: Heurística Construtiva.....	47
Algoritmo 2: Pseudocódigo da Heurística VLN	47

Índice Imagens

Imagem 1.1: Principais causas de perdas e desperdícios na cadeia de aprovisionamento	3
Imagem 1.2: Perdas Alimentares anuais ao longo da cadeia de aprovisionamento em Portugal	3
Imagem 2.1: Excesso → Voluntários → Necessidade.....	10
Imagem 2.2: Localização da <i>Re-Food</i> Telheiras	11
Imagem 4.1: Conjunto de N parceiros alimentares e centro de operações	42
Imagem 4.2: Ilustração das restrições (2) e (3).....	44
Imagem 5.1: Rota 1 da Recolha 1	50
Imagem 5.2: Rota 2 da Recolha 1	51
Imagem 5.3: Rota 1 da Recolha 2	52
Imagem 5.4: Parte da Rota 1 da Recolha 2.....	53
Imagem 5.5: Rota 2 da Recolha 1	54
Imagem 5.6: Rota 2 da Recolha 4	55
Imagem 5.7: Parte da Rota 2 da Recolha 4.....	56

Índice Tabelas

Tabela 2.1: Distância - Rota 1 da Recolha 1	16
Tabela 2.2: Tempo de Percorso em minutos e segundos – Rota 1 da Recolha 1	16
Tabela 2.3: Distância - Rota 2 da Recolha 1	17
Tabela 2.4: Tempo de Percorso em minutos e segundos – Rota 2 da Recolha 1	17
Tabela 2.5: Distância - Rota da Recolha 2	19

Tabela 2.6: Tempo de Percurso em minutos e segundos – Rota da Recolha 2	19
Tabela 2.7: Distância – Rota 1 da Recolha 3 + Distribuição	21
Tabela 2.8: Tempo de Percurso em minutos– Rota 1 da Recolha 3 + Distribuição	21
Tabela 2.9: Distância – Rota 2 da Recolha 3 + Distribuição	21
Tabela 2.10: Tempo de Percurso em minutos – Rota 1 da Recolha 3 + Distribuição	22
Tabela 2.11: Distância – Rota 1 da Recolha 4	23
Tabela 2.12: Tempo de Percurso em minutos – Rota 1 da Recolha 4	23
Tabela 2.13: Distâncias – Rota 2 da Recolha 4.....	23
Tabela 2.14: Tempo de Percurso em minutos e segundos – Rota 2 da Recolha 4	24
 Tabela 3.1: Evolução do número de cidade[a].....	27
 Tabela 5.1: Janelas Temporais – Rota 1 da Recolha	50
Tabela 5.2: Janelas Temporais – Rota 2 da Recolha	51
Tabela 5.3: Janelas Temporais – Rota 1 da Recolha 2	52
Tabela 5.4: Janelas Temporais – Rota 1 da Recolha 4	54
Tabela 5.5: Janelas Temporais – Rota 2 da Recolha 4	55

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Relevância do Tema

A logística é um tema que tem despertado grande interesse tanto a nível empresarial como académico. Segundo Grant, D. et al., (2006) logística é a parte da cadeia de abastecimento que é responsável por planejar, implementar e controlar de forma eficiente e eficaz o fluxo direto e inverso de bens, serviços e informação entre o ponto de origem e o ponto de consumo de forma a ir ao encontro dos requisitos dos clientes. Com o aumento da competitividade e a crescente exigência dos clientes torna-se essencial implementar estratégias inovadoras que garantam vantagens competitivas e rentabilidade. Várias medidas podem ser tomadas em determinadas áreas relacionadas com a logística, desde melhoria de equipamentos, transportes ou até mesmos das infraestruturas de uma empresa.

O transporte tem um papel fundamental na logística assim, a otimização de rotas torna-se essencial na obtenção de soluções que vão ao encontro dos objetivos das empresas, o que explica o interesse pela resolução de problemas do tipo Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem - TSP*). Este problema consiste em determinar um circuito que visita um conjunto de clientes uma única vez, assumindo um ponto de partida que será o mesmo que o de chegada, chamado de depósito ou armazém. O custo da viagem entre cada par de clientes e entre o depósito e cada cliente são dados conhecidos. O objetivo é o de encontrar uma rota que inicie e termine no depósito, em que todos os clientes são visitados uma única vez e de tal modo que o custo global da rota seja o mínimo possível. Na realidade, a solução deverá obedecer a outras restrições, como a capacidade do veículo e/ou os tempos desejados de visita a cada clientes. Em muitos dos casos, será necessário definir uma heurística para que seja possível solucionar um determinado problema em tempo útil.

Neste trabalho o problema do caixeiro viajante será usado para descrever um problema específico com um conjunto determinado de restrições ou limitações.

Com o crescimento populacional e a diminuição dos recursos, o desenvolvimento sustentável é um tema que tem sido muito debatido pela sociedade civil, científica e política. O desenvolvimento sustentável é normalmente referido como o desenvolvimento “*que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias*

necessidades" (WCED¹, 1987). O desenvolvimento sustentável inclui o desenvolvimento económico, ambiental e social. O desperdício alimentar é cada vez mais reconhecido como um problema que precisa ser resolvido o quanto antes, como caminho para alcançar o desenvolvimento sustentável. Segundo o Parlamento e o Conselho Europeu (2002) o alimento é "*qualquer substância ou produto transformado, parcialmente transformado ou não transformado, com a finalidade de ser, ou passível de ser ingerido por seres humanos*". Segundo Brunner et al. (2007), a expressão "alimento" não está simplesmente associada à ingestão de nutrientes, ela relaciona outras três funções essenciais de ordem social, cultural e psicológica. Defra² (2006) define o desperdício alimentar como "qualquer substância, alimento cru ou cozido, que é descartado ou destinado a ser descartado".

Atualmente são produzidos os alimentos necessários para alimentar toda a população mundial, mas infelizmente não é isso que se verifica na realidade. Nos países desenvolvidos há excesso de desperdícios alimentares e nos países em desenvolvimento há carência de alimentos (Caseira, 2009 e Baptista et al, 2012). Estima-se que um terço de toda a comida produzida é desperdiçada enquanto mais de 842 milhões de pessoas no mundo sofrem de desnutrição (FAO³ 2013a). Apesar de nos países em desenvolvimento haver carência de alimentos estes também produzem desperdício alimentar. Segundo Gustavsson et al. (2011) o desperdício alimentar ocorre em várias fases da cadeia de aprovisionamento devido a uma série de razões.

A diferença entre o desperdício alimentar nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento está nas fases da cadeia de aprovisionamento. Nos países desenvolvidos, grande parte do desperdício concentra-se nas fases finais (distribuição e consumo), enquanto que nos países em desenvolvimento, os desperdícios estão, essencialmente nas fases iniciais (produção/pós colheita). Nesses países as técnicas agrícolas não são adequadas, assim como as infraestruturas e transportes (Godfry et al, 2010).

¹ World Commission on Environment and Development

² Department for Environment Food and Rural Affairs

³ Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação



Imagem 1.1: Principais causas de perdas e desperdícios na cadeia de aprovisionamento

Fonte: PERDA⁴ 2012

Na Europa estima-se que o desperdício alimentar *per capita* esteja entre os maiores com cerca de 280 kg por ano ([Gustavsson et al., 2011](#)). A União Europeia colocou uma meta para 2020, reduzir em 50% os desperdícios alimentares que seriam próprios para consumo. O PERDA através da metodologia adaptada pela FAO calcula que em Portugal esse valor seja de 97 kg por habitante por ano, dos quais 31% derivará dos consumidores.



Imagem 1.2: Perdas Alimentares anuais ao longo da cadeia de aprovisionamento em Portugal

Fonte: PERDA 2012

O desperdício alimentar é portanto um problema para as instituições e para os governos que, para além das questões financeiras, acarreta também questões ambientais, éticas, políticas e sociais ([Maistro L. 2000](#), [Velloso R., 2002](#), [Martins M., Epstein M. e Oliveira D., 2006](#)), visto que os desperdícios alimentares englobam também o desperdício dos recursos utilizados na produção,

⁴ O PERDA - Projeto de Estudo e Reflexão sobre Desperdício Alimentar, um projeto do Centro de Estudos e Estratégias para a Sustentabilidade - CESTRAS, constitui o primeiro estudo nacional destinado a estimar o volume de desperdício alimentar em Portugal ([Baptista, P., Campos, I., Pires, I., Vaz, S. 2012](#))

desde, água, terrenos e energia entre outros elementos essenciais para a produção de determinado alimento.

Atualmente em Portugal existem algumas organizações que combatem o desperdício alimentar, fazendo a recuperação dos excedentes junto dos estabelecimentos (restaurantes, padarias, cafetarias, refeitórios, hotéis, mini, super e hipermercados, entre outros) distribuindo-os aos mais carenciados. De uma forma geral estas organizações *assentam “em cinco pilares – voluntariado, sensibilização, gestão e recolha de alimentos, boas práticas e envolvimento com a comunidade”*.

Evans A. (2009) sublinha a importância social de reduzir o desperdício alimentar e de tornar os alimentos disponíveis para aqueles que precisam. A motivação deste trabalho reside, na otimização da recolha dos excedentes alimentares junto dos estabelecimentos (parceiros alimentares). O estudo recai sobre a *Re-Food*,⁵ uma organização portuguesa sem fins lucrativos constituída como instituição particular de solidariedade social (IPSS).

Neste trabalho, o conceito de desperdício alimentar refere-se unicamente aos alimentos que estão em perfeitas condições para serem consumidos (dentro do prazo de validade), mas que por diversas razões, a maioria legais, os estabelecimentos não podem comercializar, considerando-os excedentes não aproveitáveis.

Embora o objetivo principal deste trabalho não seja o desperdício alimentar, pretende-se de alguma forma com este trabalho sensibilizar as pessoas para as questões relacionadas com o desperdício alimentar.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é a otimização de rotas de recolha de alimentos tendo por base o universo *Re-Food*. Nesta organização uma equipa de voluntários terá que percorrer um circuito, iniciando e terminando no centro de operações passando por todos os parceiros alimentares apenas uma vez, respeitando as janelas temporais por eles estabelecidas. Este problema pode ser modelado como

⁵ *Re-Food*, acrónimo da expressão inglesa “*rescuing good food*” (salvar comida boa).

um Problema do Caixeiro Viajante com Janelas Temporais (*Traveling Salesman Problem with Time Windows* – TSPTW).

1.2.1 Organização do Trabalho de Projeto

O problema do caixeiro viajante apesar de ser um problema de fácil entendimento é um problema de otimização de difícil resolução para grandes dimensões. Por ser muito combinatório a obtenção de soluções ótimas incorre, em muitas situações, a um elevado tempo computacional. É um problema da classe NP-*hard* (Karp, 1975).

Neste trabalho o problema em estudo, otimização de rotas de recolha de alimentos no caso da *Re-Food*, é modelado como um Problema do Caixeiro Viajar com Janelas Temporais (*Traveling Salesman Problem with Time Windows* – TSPTW) que é uma variante do Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem* – TSP). O TSPTW tem como objetivo encontrar o circuito de custo mínimo que permite visitar um conjunto de cidades exatamente uma vez, e cada uma das cidades deverá ser visitada dentro de uma determinada janela temporal.

Isto significa basicamente que a obtenção de soluções exatas é muitas vezes inviável em termos de tempo de execução, e por isso se recorre a algoritmos de aproximação e heurísticas.

Este projeto está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 será apresentado o caso de estudo. No capítulo 3 será apresentada uma breve revisão da literatura, será definido o problema, serão abordados sucintamente algumas variantes que serão fundamentais para a resolução do problema apresentado neste trabalho. No capítulo 4 será apresentado o modelo e os métodos de resolução do caso de estudo. E por fim no capítulo 5 serão apresentados e discutidos os resultados obtidos.

Capítulo 2 – Apresentação do Caso de Estudo

Este capítulo tem como objetivo dar a conhecer um pouco da história da *Re-Food* e fornece informação sobre como são realizadas a recolhas dos excedentes alimentares junto dos parceiros alimentares. É extrema importância perceber como esta tarefa é feita para que o objetivo principal deste trabalho seja atingido.

2.1 História

O projeto *Re-Food*, que tem como objetivo ajudar a acabar com a fome e o desperdício alimentar, foi implementado em Lisboa pelo norte-americano Hunter Halder, proveniente de uma aldeia dos arredores da Virgínia, Estados Unidos da América. A sua primeira visita a Portugal deu-se no ano de 1988 no âmbito de uma peregrinação a Fátima, presente atribuído pela congregação da igreja que frequentava na sua terra natal. E foi nesse contexto que Hunter Halder, na altura com 38 anos, se apercebeu que o seu destino se desenrolaria em Portugal.

A ideia surgiu num almoço em família, quando em conversa com as suas filhas, Mayara e Raissa, estas o questionaram acerca do fim que têm os alimentos confeccionados nos restaurantes e que não são servidos aos clientes. Foi então na sequência desse diálogo que Hunter Halder decidiu que teria que fazer alguma coisa a respeito do desperdício alimentar.

Mais de 20 anos depois do marcante almoço, nomeadamente a 20 de março de 2011, ocorreu a implementação do projeto em Lisboa. Este foi o momento mais indicado para Hunter Halder, pois para além da crise mundial que se fazia sentir em todo o mundo, ele próprio começava a sentir profissionalmente os efeitos desta. E aos 60 anos comprometeu-se a ajudar os mais necessitados. De entre as inúmeras ideias que tinha, a *Re-Food* era a que para ele fazia mais sentido no momento, pois seria uma organização concebida para reaproveitar excedentes alimentares, direcionando-os para os mais carenciados.

O projeto começou por abranger a sua zona de residência, a freguesia de Nossa Senhora de Fátima, zona em que tentava, junto dos comerciantes da restauração, fazer com que estes, ao invés de deitarem para o lixo excedentes alimentares do dia, lhe entregassem os mesmos para que ele os fizesse chegar aos mais carenciados. Apesar de ter encontrado alguma resistência ao longo do caminho, esta com o passar do tempo foi facilmente ultrapassada.

No início, era apenas Hunter Halder quem fazia a recolha e distribuição dos excedentes alimentares com a sua bicicleta, mas cerca de 30 dias após o início do projeto ele já contava com 30 voluntários e 30 parceiros da área da restauração. E foi nessa altura que Hunter Halder teve a certeza que o projeto iria atingir os seus objetivos, minimizar a fome e o desperdício alimentar. Para além de contar com o apoio das suas filhas neste projeto, Hunter Halder conta também com Christopher, seu filho mais velho que co-fundou o projeto com o seu pai, tendo sido também ele quem sugeriu o nome de *Re-Food*, acrónimo da expressão inglesa "*rescuing good food*" (salvar comida boa).

2.2 Características da Organização

A *Re-Food* é uma organização portuguesa sem fins lucrativos constituída como IPSS (Instituição Particular de Solidariedade Social). Para que os objetivos que levaram à formação desta organização sejam atingidos, esta conta com uma equipa de voluntários, parceiros de alimentação, parcerias com instituições públicas e privadas e com o apoio financeiro de parceiros nacionais, estando igualmente aberta a doações.

A organização é constituída por vários núcleos. A existência de vários núcleos numa mesma comunidade permite maximizar os pontos de recolha dos alimentos e direcionar os mesmos para o maior número de famílias carenciadas. A abrangência geográfica é "*micro-local*", pois a sua área de atuação deverá ser de aproximadamente 2 km^2 . Esta abordagem deve-se ao facto de na fase inicial do projeto Hunter Halder, ao estudar a sua zona de atuação, constatou que seria humanamente impossível visitar todos os pontos e fazer a repartição pelas famílias. Na altura tinha 285 potenciais parceiros alimentares, e apercebeu-se de que garantir que os alimentos estariam em condições de conservação quando chegassem ao destino poderia ser difícil.

Até ao momento existem 16 núcleos que auxiliam as comunidades de norte a sul do país (Lisboa, Porto, Braga, Cascais e Algoz-Tunes, no Algarve), e 34 equipas estão a implantar e abrir núcleos *Re-Food* em várias outras zonas. A nível internacional já estão formadas equipas em Barcelona, Madrid, Milão, Londres e Buenos Aires. Este projeto constituiu um estímulo para outros implementados em Amesterdão (*Buurt Buik*) e em várias cidades da Índia (*The Robin Hood Army*).

Para a formação de um núcleo são necessárias cerca de 60 a 70 pessoas, das quais 10 ou 12 são gestores. Desse grupo de gestores são definidos 2 líderes. Para que seja possível determinar os

Líderes serão necessárias entre 5 e 6 reuniões de equipa de forma a eleger as pessoas que melhor se enquadram no perfil pretendido. Após a formação do grupo e identificadas as responsabilidades de cada um, será necessário definir um plano de atuação, ou seja, identificar as necessidades e os recursos disponíveis para a implementação do núcleo. E para isso será necessário identificar e convidar os possíveis parceiros alimentares ou não alimentares a participar. No que respeita à identificação de quais e quantas são as famílias carenciadas, o auxílio é prestado pelas Câmaras Municipais, Juntas de Freguesia, as Misericórdias, a Cruz Vermelha e Igrejas. Há também casos em que são as próprias famílias que se dirigem ao centro de operações em busca de apoio alimentar.

Após a identificação destes postos será necessário encontrar um espaço que tenha as devidas condições físicas e geográficas para ser o centro de operações do núcleo. Segundo Hunter Halder, este é um processo que leva pelo menos 9 meses, pois para além da identificação dos potenciais parceiros alimentares e os beneficiários, é também necessário trabalhar com os agentes sociais responsáveis pelas futuras áreas de atuação dos núcleos para que não haja duplicações das ajudas, garantindo assim que estas cheguem a um maior número de pessoas.

O processo de criação de um novo núcleo acarreta alguma complexidade, e por isso existe um Manual de Implementação. Este é um documento interno disponível a todas as equipas tendo como objetivo torná-las autónomas. Contudo, e como o Manual de Implementação ainda não se encontra completamente composto, são necessárias frequentes reuniões com a sede do projeto a fim de auxiliar na estruturação do novo núcleo. Num futuro muito próximo este documento estará concluído e para além de reunir todas as informações necessárias de ação perante as várias fases do processo, estará também desenvolvido para que seja possível abrir um núcleo não só a nível nacional como a nível internacional.

Os voluntários trabalham geralmente duas horas por semana, estando os dias previamente definidos. Diariamente os voluntários do dia estão divididos em dois grupos: os que fazem a recolha dos alimentos e os que organizam e distribuem os alimentos recolhidos.

Cada núcleo apresenta algumas especificidades, apesar de a base para a sua constituição ser a mesma. Isto sucede porque a sua atuação depende dos pontos de recolha, já que cada estabelecimento tem as suas características e horários. Apesar da recolha em cada um dos núcleos ter características particulares, todas têm a mesma finalidade: recolher e transportar até ao núcleo

os alimentos em perfeitas condições, para serem consumidos, para posteriormente serem divididos e distribuídos pelos mais carentes nas melhores condições possíveis.



Imagem 2.1: Excesso → Voluntários → Necessidade

Fonte: <http://www.re-food.org/blog>

A *Re-Food* é responsável pelo aproveitamento de excedentes alimentares que sem a sua ação estariam condenados ao desperdício, nomeadamente através do estabelecimento de uma ligação entre quem tem excedentes alimentares e as famílias carentes. Esta organização baseia-se em quatro critérios básicos: redução do desperdício de alimentos desnecessários, redução da insuficiência alimentar, reforço dos laços comunitários e a replicação do conceito.

Seguidamente estão transcritos do *blog* oficial da *Re-Food*⁶ a missão, a visão e os valores desta organização.

MISSÃO

Eliminar o desperdício alimentar e acabar com a fome, incluindo neste esforço todos os membros da comunidade.

VISÃO

A RE-FOOD VISA A CRIAÇÃO DE UM NOVO MUNDO, onde: todos têm a comida que precisam, todos os alimentos são aproveitados, todos os cidadãos participam ativamente na gestão dos preciosos recursos comunitários e todos assumem o seu poder, o seu direito e a sua obrigação de transformar o mundo num lugar melhor.

VALORES

Igualdade: *Todas as pessoas têm o direito a serem respeitadas e alimentadas.*

⁶ <http://www.re-food.org/blog/>

Respeito: Baseamo-nos em relações humanas positivas, onde todos se respeitam. Devemos ser uma força visível e constante de benevolência na comunidade.

Inclusão: Acreditamos que as pessoas e os recursos são essenciais e devem contribuir para uma comunidade mais solidária.

Sustentabilidade: Consideramos o impacto ambiental do nosso projeto, respeitamos as pessoas na sua disponibilidade e procuramos a auto sustentabilidade financeira a nível local, regional e nacional.

Otimismo: Acreditamos que, com boa vontade e esforço organizado, é possível acabar com o desperdício de alimentos e com a fome no mundo.

2.3 Descrição do Caso de estudo

2.3.1 Localização Geográfica

Como já foi referido anteriormente, existem vários núcleos *Re-Food*. Este trabalho incide especificamente sobre o núcleo de Telheiras. O centro de operação da *Re-Food* Telheiras está localizado na Rua Mário Dionísio, 2 - E, 1600-248 Lisboa. Este espaço foi cedido pela Empresa Pública de Urbanização de Lisboa (EPUL).

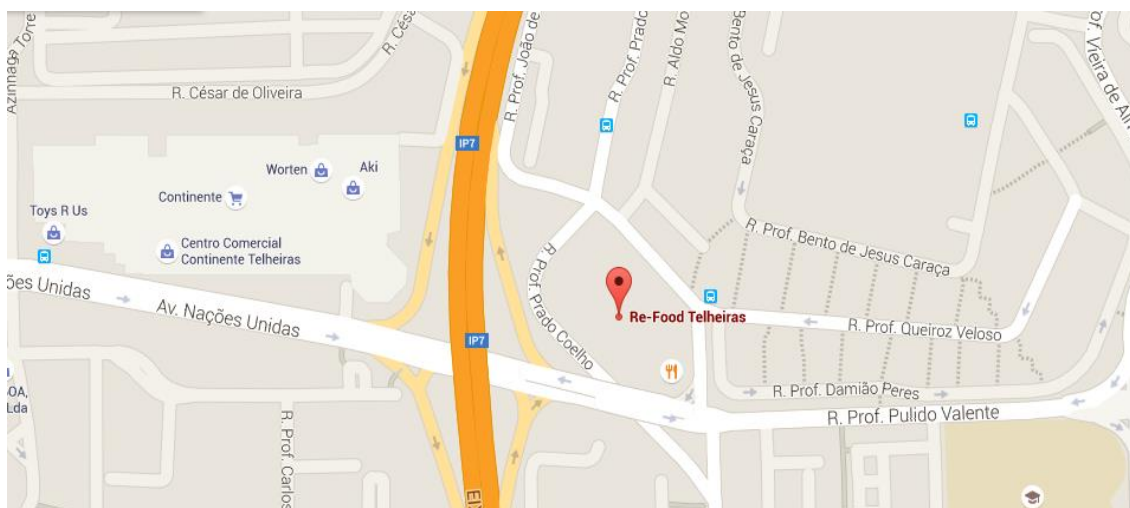


Imagem 2.2: Localização da Re-Food Telheiras

Fonte: <https://maps.google.pt>

O horário de funcionamento deste centro de operações é de segunda a sexta-feira das 18.30 às 23.30/24h. E quando necessários há sempre voluntários dispostos a abdicar do fim-de-semana por uma boa causa.

2.3.2 Características do Núcleo de Telheiras

No dia 7 de Janeiro de 2013 foi inaugurado o segundo núcleo do projeto *Re-Food*, em Telheiras. Atualmente contam com a ajuda de 188 voluntários. O número de voluntários varia devido a inúmeros fatores, como por exemplo, o facto de este núcleo estar perto das universidades e de escolas secundárias faz com que grande parte da sua equipa de voluntários seja constituída por estudantes. Por este motivo, na época das férias e final de ano letivo o número de voluntários tem um ligeiro decréscimo. Simultaneamente, este é também o período de férias de alguns dos parceiros alimentares. Mas felizmente este é também um período rico em feiras, festejos, festivais, concertos, entre outros, e grande parte das entidades que possuem pontos de venda de comida em tais eventos estão disposta a colaborar com a *Re-Food*, disponibilizando à organização os seus excedentes alimentares. O número de beneficiários também tem um ligeiro decréscimo neste período, sendo que em alguns casos são as crianças que vão de férias para casa de familiares, e noutros são famílias completas que se ausentam por um período de tempo.

A organização semanal dos voluntários é da responsabilidade do gestor de voluntários. Cada dia da semana está dividido em dois turnos: o primeiro para os estabelecimentos comerciais alimentares (cafés, pastelarias, padarias, mini mercados, entre outros) que encerram entre as 19 e as 20 horas; e o segundo turno para os que encerram as suas atividades após esse horário (restaurantes, snack bares, super e híper mercados).

A distribuição dos alimentos é feita tendo em conta o número de adultos e de crianças do agregado familiar, sendo importante para esta organização as idades das crianças e dos adultos. Além disso, se alguém no agregado familiar padece de alguma doença ou alergia, entre outras características que possam ser relevantes no momento da repartição dos alimentos, a *Re-Food* garante que as necessidades nutricionais dos beneficiários são satisfeitas, proporcionando refeições equilibradas, pois em muitos dos casos esta é a sua única fonte de obtenção de nutrição. Por outro lado, e para além de ter em conta as necessidades dos beneficiários, a *Re-Food* também considera as preferências alimentares destes. Toda esta informação está disponível nos quadros nas paredes de

forma a facilitar a tarefa dos voluntários. A lista dos beneficiários está alfabeticamente organizada, assim como os seus sacos de ráfia e os tupperwares.

Enquanto o primeiro turno da recolha vai fazendo o levantamento dos excedentes alimentares junto aos parceiros, a equipa que ficou no centro de operações vai preparando as refeições para os beneficiários com o que foi recolhida no dia anterior.

Os beneficiários, munidos com os tupperwares lavados dentro dos seus sacos de ráfia, dirigem-se ao centro de operações para fazerem o levantamento das suas refeições por volta das 20h30. Para além disso o núcleo de Telheiras, ao contrário dos restantes, faz a distribuição dos alimentos no Bairro da Cruz Vermelha. Apesar de recentemente ter sido inaugurado o núcleo do Lumiar, este ainda não se encontra em condições de dar apoio aos beneficiários do Bairro da Cruz Vermelha, ficando assim sob responsabilidade do núcleo de Telheiras fazer chegar as refeições às famílias daquela zona.

Existem casos em que os voluntários fazem a entrega das refeições na residência dos beneficiários, nomeadamente quando estes não possam deslocar-se ao centro de operações.

2.3.3 Frota associada ao Núcleo de Telheiras

A recolha dos excedentes alimentares é feita maioritariamente a pé, em alguns casos de bicicleta ou de carrinha.

Nos trajetos, os voluntários fazem-se acompanhar de tupperwares, sacos e/ou de carrinhos isotérmicos dependendo da rota (itinerário percorrido) a que se destinam, garantindo assim a recolha, o acondicionamento e o transporte adequado dos excedentes alimentares.

A *Re-Food* segue as normas de higiene, limpeza e temperatura contempladas nas orientações da ASAE - Autoridade de Segurança Alimentar e Económica. Esta tem colaborado em várias iniciativas de combate ao desperdício alimentar, estando sempre disponível para prestar o apoio e esclarecimento técnicos necessários de forma a garantir que a “doação de alimentos” é feita em segurança.

Para que isto se tornasse possível, algumas medidas tiveram que ser tomadas visto que este género de ações ainda não tinham sido feitas em Portugal e as bases legais eram pouco clara. Mas em 2011

um Comandante da *TAP* (Transportes Aéreos Portugueses), António Costa Pereira, presidente da Associação *DariAcordar*,⁷ que lançou o Movimento *Zero Desperdício* decidiu contactar a *ASAE* a fim de com o auxílio desta esclarecer algumas situações referentes à “doação de alimentos”, pois a interpretação de algumas leis suscitava algumas dúvidas, para além de despontar uma conotação negativa para a ação que António Costa Pereira pretendia desenvolver. Numa reunião com a *ASAE* conclui-se que de facto a lei não estava a ser bem interpretada e que seria possível dar continuidade ao projeto que o Comandante da *TAP* pretendia desenvolver. A única imposição seria que as normas de segurança alimentar ao longo de todas as etapas fossem respeitadas, desde a recolha, acondicionamento, conservação, transporte e distribuição de todos os tipos de alimentos. A *ASEA* forneceu o apoio técnico necessário mas também contou com o apoio da *DariAcordar*, e em conjunto foi possível definir os procedimentos que garantam a segurança dos alimentos ao longo de todo o percurso.

Para além de garantir a segurança dos excedentes alimentares ao longo do percurso, a *Re-Food* salvaguarda também que exista sempre uma quadrupla verificação dos excedentes alimentares: 1º pelos funcionários dos parceiros alimentares, 2º pelos voluntários que fazem a recolha, 3º pelos voluntários que fazem a repartição das refeições, e 4º pelos próprios beneficiários.

Os voluntários que fazem a recolha são responsáveis por etiquetar todos os bens recolhidos. Nestas etiquetas deverá estar a data da recolha, o parceiro alimentar que forneceu e a que recolha pertence. Assim que chegam ao centro de operações o outro grupo de voluntários confere a informação presente na etiqueta e faz o devido acondicionamento dos alimentos.

O núcleo de Telheiras tem uma carrinha comercial elétrica, *Renault Kangoo Z.E.*, resultante de uma candidatura feita em Fevereiro de 2013 ao Programa da Fundação EDP⁸ - EDP Solidária 2013. A carrinha é fundamental em situações nas quais é necessário fazer chegar as refeições aos beneficiários do Bairro da Cruz Vermelha, quando os parceiros alimentares têm uma quantidade superior à capacidade de transporte, e quando o ponto de recolha fica distante das rotas já implementadas, entre outras situações pontuais que possam ocorrer.

⁷ *DariAcordar* é uma Organização sem fins lucrativos fundada em 2011. Desenvolve iniciativas de solidariedade social com o propósito de auxiliar os mais carenciados, junto de entidades político-administrativas, sociais e económicas (IPSS, Misericórdias, Câmaras Municipais e Juntas de Freguesia).

⁸ Fundação EDP – É uma instituição de direito privado, sem fins lucrativos, criada pela EDP – Energias de Portugal, S.A. em dezembro de 2004.

2.3.4 Descrição das Recolhas

O núcleo de Telheiras faz atualmente quatro recolhas, que são denominadas de *Recolha 1*, *Recolha 2*, *Recolha 3 + Distribuição* e *Recolha 4*. Apesar de todas começarem e terminarem no centro de operações, cada uma delas apresenta características distintas, que serão apresentadas seguidamente.

Foram disponibilizados pelo núcleo os mapas de cada uma das recolhas, e com base nos mesmos foram calculadas as distâncias e os tempos, em metros e em minutos, respetivamente, do centro de operações a cada um dos parceiros alimentares e entre cada um dos parceiros alimentares. Esta informação foi colocada em tabelas denominadas por *Distâncias* e *Tempo de Percurso*. É de realçar que nos mapas cedidos pelo núcleo de Telheiras as horas de *início* e de *fim* dizem respeito à hora em que os voluntários deverão estar no estabelecimento do primeiro e do último parceiro alimentar, respetivamente. Tendo sido ignorado o tempo de percurso realizado entre o centro de operações e o primeiro parceiro, e do último parceiro ao centro de operações.

A recolha feita pelos voluntários poderá ser a pé ou de bicicleta como já foi referido anteriormente, e é por esse motivo que as distâncias presentes nas tabelas terão o mesmo valor em ambos os sentidos. Apenas a *Recolha 3 + Distribuição* e parte da *Recolha 4* tem a particularidade de não ter a mesma distância em ambos os sentidos pois para a realização de ambos é utilizada a carrinha da *Re-Food- O ZÉ*. Seguidamente será explicada cada uma das recolhas e suas singularidades.

Os valores presentes nas *Tabelas da Distância* e *Tempo de Percurso* foram definidos com o auxílio do *Google Maps*, que não só permite a visualização de mapas mas também estimar as distâncias e os tempos de cada percurso.

Todos os mapas disponibilizados pelo núcleo estarão em anexo.

Os parceiros alimentares que não autorizam que o nome do seu estabelecimento seja divulgado estarão identificados como *Anónimo*.

Recolha 1

Esta recolha tem atualmente 11 parceiros alimentares. O período de recolha que está previsto inicia-se às 18h35 e termina às 20h25, recordando que nestes horários não foi considerado o centro de

operações, o tempo apenas se refere ao horário em que a equipa de voluntários deverá estar no primeiro e no último parceiro alimentar, respetivamente.

O horário de recolha em cada um dos parceiros alimentares tem como base o próprio horário dos seus estabelecimentos. No mapa podemos ver que os parceiros estão numerados de 1 a 11 (por ordem de recolha), com os respetivos horários previstos da recolha. Todo o percurso é feito a pé pelos voluntários equipados com tupperwares, sacos e carrinhos isotérmicos. A cada parceiro alimentar foi atribuída uma cor azul ou verde. Isto porque esta recolha está dividida em duas partes, identificadas como Rota 1 e Rota 2 da Recolha 1. Nos mapas disponibilizados pela organização pode-se confirmar que os parceiros que estão identificados com a cor azul pertencem à primeira rota e os restantes, a verde, à segunda rota. Os dois parceiros alimentares que estão identificados com a cor amarela também pertencem à Rota 2 da *Recolha 1*, mas que ao contrário dos outros, estão encerrados à segunda-feira. Ou seja, nesse dia da semana os voluntários não vão fazer a recolha nesse ponto.

Nas tabelas seguintes é possível verificar as distâncias e os tempos determinados em cada umas das rotas da Recolha 1.

Rota 1	<i>Re-Food</i>	Anónimo	Xiag	Dandy	Academia dos Príncipes
<i>Re-Food</i>	0	767	1071	1211	772
1- Anónimo	767	0	360	426	21
2- Xiag	1071	360	0	79	354
3- Dandy	1211	426	79	0	378
4- Academia dos Príncipes	772	21	354	378	0

Tabela 2.1:Distância - Rota 1 da Recolha 1

Rota 1	<i>Re-Food</i>	Anónimo	Xiag	Dandy	Academia dos Príncipes
<i>Re-Food</i>	0	10:12	14:17	16:09	10:18
1- Anónimo	10:12	0	04:48	05:41	00:28
2- Xiag	14:17	04:48	0	01:03	04:43
3- Dandy	16:09	05:41	01:03	0	05:02
4- Academia dos Príncipes	10:18	00:28	04:43	05:02	0

Tabela 2.2: Tempo de Percurso em minutos e segundos – Rota 1 da Recolha 1

Rota 2	Re-Food	Bebé Gourmet	Naboa*	_@ Come	3 Cereais	Bacalhau à Brás	Frut'area	P@o.Come
<i>Re-Food</i>	0	1000	850	1096	1058	917	685	681
5- Bebé Gourmet*	1000	0	150	278	316	549	554	558
6- Naboa**	850	150	0	258	220	572	406	410
7- _@ Come	1096	278	258	0	38	328	639	635
8- 3 Cereais	1058	316	220	38	0	366	580	584
9- Bacalhau à Brás*	917	549	572	328	366	0	418	414
10- Frut'area	685	554	406	639	580	418	0	4
11- P@o.Come	681	558	410	635	584	414	4	0

Legenda

* Não há recolha à 2ª feira

** Entradas serão feitas por trás da Rua Fernando Namora

Tabela 2.3: Distância - Rota 2 da Recolha 1

Rota 2	Re-Food	Bebé Gourmet	Naboa*	_@ Come	3 Cereais	Bacalhau à Brás	Frut'area	P@o.Come
<i>Re-Food</i>	0	13:20	11:20	14:37	14:06	12:14	09:08	09:05
5- Bebé Gourmet*	13:20	0	02:00	03:42	04:13	07:19	07:23	07:26
6- Naboa**	11:20	02:00	0	03:26	02:56	07:38	05:25	05:28
7- _@ Come	14:37	03:42	03:26	0	00:51	04:22	08:31	08:28
8- 3 Cereais	14:06	04:13	02:56	00:51	0	04:53	07:44	07:47
9- Bacalhau à Brás*	12:14	07:19	07:38	04:22	04:53	0	05:34	05:31
10- Frut'area	09:08	07:23	05:25	08:31	07:44	05:34	0	00:05
11- P@o.Come	09:05	07:26	05:28	08:28	07:47	05:31	00:05	0

Legenda

* Não há recolha à 2ª feira

** Entradas serão feitas por trás da Rua Fernando Namora

Tabela 2.4: Tempo de Percurso em minutos e segundos – Rota 2 da Recolha 1

Recolha 2

A *Recolha 2* integra 14 parceiros alimentares, o seu período de recolha está previsto iniciar-se às 19h25 e deverá estar terminada às 20h30. Neste caso em particular houve algumas alterações e ajustamentos no horário disponibilizado pelos parceiros alimentares para se fazer a recolha, e é por esse motivo que alguns deles apresentam o mesmo horário consequentemente a numeração não segue uma ordem cronológica.

Ao contrário da primeira, esta só tem uma rota e é por esse motivo que todos os parceiros estão identificados com a cor azul, como se poderá ver nos mapas em anexo. Os parceiros alimentares que estão assinalados com a cor amarela tem a particularidade da sua recolha se restringir a um ou dois dias da semana. No mesmo mapa poder-se-á verificar que existe um parceiro alimentar que está assinalado com a cor preta, isto porque o proprietário do estabelecimento fará a entrega dos seus excedentes alimentares no centro de operações, não sendo por isso necessário que a equipa de voluntários se desloque a este ponto de recolha para fazer o levantamento dos seus excedentes alimentares. Apesar deste parceiro alimentar estar presente no mapa em anexo, este não será considerado no decorrer deste trabalho, consequentemente não aparecerá referido na *Tabela da Distância* nem no *Tempo de Percurso*. Foram respeitadas as cores atribuídas pela *Re-Food* a cada um dos parceiros alimentares.

Nesta recolha existe um parceiro alimentar que fornece uma grande quantidade de excedentes alimentares que em muitas das vezes não é possível à equipa de voluntários fazer o seu transporte até ao centro de operações. Nestes casos a equipa entrará em contato com a equipa de voluntários da *Recolha 3 + Distribuição* para que estes possam fazer o transporte dos excedentes alimentares até ao centro de operações.

Rota 1	Re-Food	Rest. o Jacinto *	Rest. Cantinho de Telheiras	Frutaria O António	Matilde Bazar do Pão	Sabores com Alma 1	Rest. Solar de Telheiras	Frutaria Aquário	Frutaria Fruta Doce **	A Horta de Telheiras	Padaria Espiga Sol ***	Fatia Doce	Sabores com Alma 2	Loja da Comida
Re-Food	0	990	816	766	564	510	550	680	544	494	431	670	744	806
1- Restaurante o Jacinto *	990	0	178	224	407	463	421	329	426	477	538	338	426	215
2- Rest. Cantinho de Telheiras	816	178	0	46	315	287	245	297	334	301	362	346	394	183
3- Frutaria O António	766	224	46	0	270	242	200	311	289	256	317	301	441	229
4- Matilde Bazar do Pão	564	407	315	270	0	127	87	78	19	148	209	69	201	202
5- Sabores com Alma 1	510	463	287	242	127	0	42	170	146	28	89	170	300	297
6- Rest. Solar de Telheiras	550	421	245	200	87	42	0	130	106	57	118	120	250	255
7- Frutaria Aquário	680	329	297	311	78	170	130	0	97	191	252	9	123	124
8- Frutaria Fruta Doce **	544	426	334	289	19	146	106	97	0	167	228	88	220	221
9- A Horta de Telheiras	494	477	301	256	148	28	57	191	167	0	61	181	311	311
10- Padaria Espiga Sol ***	431	538	362	317	209	89	118	252	228	61	0	242	372	372
11- Fatia Doce	670	338	346	301	69	170	120	9	88	181	242	0	132	133
12- Sabores com Alma 2	744	426	394	441	201	300	250	123	220	311	372	132	0	221
13- Loja da Comida	806	215	183	229	202	297	255	124	221	311	372	133	221	0

Legenda

* Recolha à 3ª e 5ª feira

** Recolha só à 3ª feira

*** Recolha à 2ª e 5ª feira

Tabela 2.5: Distância - Rota da Recolha 2

Rota 1	Re-Food	Restaurante o Jacinto *	Rest. Cantinho de Telheiras	Frutaria O António	Matilde Bazar do Pão	Sabores com Alma 1	Rest. Solar de Telheiras	Frutaria Aquário	Frutaria Fruta Doce **	A Horta de Telheiras	Padaria Espiga Sol ***	Fatia Doce	Sabores com Alma 2	Loja da Comida
Re-Food	0	13:12	10:53	10:13	07:31	06:48	07:20	09:04	07:15	06:35	05:45	08:56	09:55	10:45
1- Restaurante o Jacinto *	13:12	0	02:22	02:59	05:26	06:10	05:37	04:23	05:41	06:22	07:10	04:30	05:41	02:52
2- Rest. Cantinho de Telheiras	10:53	02:22	0	00:45	04:12	03:50	03:16	03:58	04:27	04:01	04:50	04:37	05:15	02:26
3- Frutaria O António	10:13	02:59	00:45	0	03:36	03:14	02:40	04:09	03:51	03:25	04:14	04:01	05:53	03:03
4- Matilde Bazar do Pão	07:31	05:26	04:12	03:36	0	01:42	01:10	01:02	00:25	01:58	02:47	00:55	02:41	02:42
5- Sabores com Alma 1	06:48	06:10	03:50	03:14	01:42	0	00:34	02:16	01:57	00:22	01:11	02:16	04:00	03:58
6- Rest. Solar de Telheiras	07:20	05:37	03:16	02:40	01:10	00:34	0	01:44	01:25	00:46	01:34	01:36	03:20	03:24
7- Frutaria Aquário	09:04	04:23	03:58	04:09	01:02	02:16	01:44	0	01:18	02:33	03:22	00:12	01:38	01:39
8- Frutaria Fruta Doce **	07:15	05:41	04:27	03:51	00:25	01:57	01:25	01:18	0	02:14	03:02	01:10	02:56	02:57
9- A Horta de Telheiras	06:35	06:22	04:01	03:25	01:58	00:22	00:46	02:33	02:14	0	00:49	02:25	04:09	04:09
10- Padaria Espiga Sol ***	05:45	07:10	04:50	04:14	02:47	01:11	01:34	03:22	03:02	00:49	0	03:14	04:58	04:58
11- Fatia Doce	08:56	04:30	04:37	04:01	00:55	02:16	01:36	00:12	01:10	02:25	03:14	0	01:46	01:46
12- Sabores com Alma 2	09:55	05:41	05:15	05:53	02:41	04:00	03:20	01:38	02:56	04:09	04:58	01:46	0	02:57
13- Loja da Comida	10:45	02:52	02:26	03:03	02:42	03:58	03:24	01:39	02:57	04:09	04:58	01:46	02:57	0

Legenda

* Recolha à 3ª e 5ª feira

** Recolha só à 3ª feira

*** Recolha à 2ª e 5ª feira

Tabela 2.6: Tempo de Percorso em minutos e segundos – Rota da Recolha 2

Recolha 3 + Distribuição

A *Recolha 3 + Distribuição* é a única recolha que integra recolha dos excedentes alimentares junto dos parceiros alimentares e distribuição dos alimentos aos beneficiários. A *Recolha 3 + Distribuição* tem começo previsto para as 19h30 e término às 21h, conta atualmente com três parceiros alimentares. Para além disso, e com base no mapa cedido pelo núcleo, podemos constatar que esta equipa de voluntários também faz a distribuição dos alimentos a uma beneficiária que por motivos de saúde, atualmente não se pode deslocar ao centro de operações. E como já foi referido, em casos excecionais como este, a *Re-Food* faz a entrega dos alimentos ao domicílio. Por se tratar de uma situação pontual, não será considerada neste trabalho.

Ao contrário das outras rotas, esta é a única na qual se faz uso da carrinha da *Re-Food*. Como se poderá ver no mapa em anexo, os pontos de recolha são um pouco mais distantes do centro de operações comparativamente aos das restantes rotas. Esta rota é a que tem um menor número de voluntários pois a carrinha é de 2 lugares, mas em contrapartida têm um espaço de carga que permite fazer a recolha de uma grande quantidade de excedentes alimentares. Esta é também a única recolha em que para além da recolha habitual junto dos parceiros alimentares também é feita a distribuição das refeições dos beneficiários do Bairro da Cruz Vermelha.

A carrinha sai do centro de operações, faz as recolhas junto aos parceiros alimentares e regressa ao centro de operações, onde são descarregados os excedentes alimentares entregues. Terminada esta fase, é feito em seguida o carregamento da carrinha com os sacos de ráfia que tem no seu interior as refeições para as famílias do Bairro da Cruz Vermelha. Estes sacos estão identificados para que o processo de entrega seja mais rápido. O número de refeições em cada saco está de acordo com o número de pessoas do agregado familiar e algumas particularidades que possam existir, como já foi mencionado anteriormente.

No bairro foi estabelecido um ponto de encontro ao qual as famílias se dirigem próximo da hora combinada. Cada uma destas famílias tem um ou dois sacos de ráfia de acordo com o agregado familiar. E em cada saco há um conjunto de *tupperwares* devidamente identificados. No momento em que a equipa de voluntários chega ao local são entregues os sacos com os alimentos e recolhidos os sacos levados pelas famílias no dia anterior.

Esta recolha é constituída por duas rotas, a recolha propriamente dita e a distribuição. O parceiro alimentar identificado com o número 3 corresponde ao número 10 da rota da *Recolha 2*, isto porque

os excedentes alimentares disponibilizados são muitas das vezes superiores à capacidade da equipa de voluntários. Nos casos em que não é possível para a equipa de voluntários fazer o transporte dos excedentes alimentares para o centro de operações, é da responsabilidade da equipa de voluntários da *Recolha 3 + Distribuição* garantir que estes cheguem ao centro de operações nas melhores condições possíveis.

Rota 1	<i>Re-Food</i>	Pingo Doce*	Frutaria Sabores e Delícias	Padaria Espiga **
<i>Re-Food</i>	0	1239	1020	494
1 - Pingo Doce*	1239	0	219	1733
2 - Frutaria Sabores e Delícias	1020	219	0	1514
3 - Padaria Espiga **	494	1733	1514	0

Legenda

* Não há recolha à 6ª feira

** Recolha só à 2ª e à 5ª feira

Tabela 2.7: Distância – Rota 1 da Recolha 3 + Distribuição

Rota 1	<i>Re-Food</i>	Pingo Doce*	Frutaria Sabores e Delícias	Padaria Espiga **
<i>Re-Food</i>	0	3	3	2
1 - Pingo Doce*	3	0	1	5
2 - Frutaria Sabores e Delícias	3	1	0	4
3 - Padaria Espiga **	1	4	4	0

Legenda

* Não há recolha à 6ª feira

** Recolha só à 2ª e à 5ª feira

Tabela 2.8: Tempo de Percurso em minutos– Rota 1 da Recolha 3 + Distribuição

Rota 2	<i>Re-Food</i>	Bairro da Cruz Vermelha***
<i>Re-Food</i>	0	3910
4 - Bairro da Cruz Vermelha***	4970	0

Legenda

*** Distribuição

Tabela 2.9: Distância – Rota 2 da Recolha 3 + Distribuição

<i>Rota 2</i>	<i>Re-Food</i>	Bairro da Cruz Vermelha***
<i>Re-Food</i>	0	10
4 - Bairro da Cruz Vermelha***	8	0

Legenda

*** Distribuição

Tabela 2.10: Tempo de Percurso em minutos – Rota 1 da Recolha 3 + Distribuição

Recolha 4

A *Recolha 4* tem no total 14 parceiros alimentares, estando estes divididos por duas rotas. A primeira rota é feita com a carrinha, já a segunda é na maior parte das vezes feita a pé. Nesta recolha existem dois parceiros alimentares que fazem parte de ambas as rotas, os pontos de recolha 6 e 7, como se poderá ver no mapa em anexo.

A rota 1 está prevista iniciar-se às 21h25 e terminar às 23h, na rota 2 a equipa de voluntários deverá iniciar a recolha às 22h25 e termina-la às 23h40. Ressalvando a ideia que neste horário os voluntários deverão ter a recolha feita no primeiro e no último parceiro alimentar. Na rota 1 a equipa de voluntários dirige-se aos pontos de recolha 6 e 7 para entregar os *tupperwares* e os sacos que possam ser necessários, e na segunda rota procede-se à recolha. Isto acontece porque a dinâmica nestes pontos é um pouco mais complexa e esta foi a forma encontrada para minimizar os esforços, tanto dos voluntários como dos próprios pontos de recolha. É de ressaltar que isto só é possível porque os pontos de recolha são muito próximos entre si, bem como do centro de operações. Quanto aos restantes parceiros a recolha mantém-se idêntica ao descrito nas outras rotas. Em seguida estão apresentadas as tabelas referentes a estas rotas.

Rota 1	Re-Food	Padaria Portuguesa	Honorato	Ten_to_Ten (Telheiras Norte)	Ten_to_Ten (Telheiras)	Stuppendo (Continente)	UAI *	Casa das Bifanas (Continente)*
Re-Food	0	580	864	827	1213	1807	530	1807
1 - Padaria Portuguesa	580	0	813	1157	941	2080	44	2080
2 - Honorato	717	147	0	1250	1078	2217	187	2217
3 - Ten_to_Ten (Telheiras Norte)	827	1157	987	0	1933	1640	1197	1640
4 - Ten_to_Ten (Telheiras)	1162	942	1700	1933	0	1506	892	1506
5 - Stuppendo (Continente)	623	880	1050	1407	1700	0	830	0
6 - UAI *	530	44	857	1197	891	2030	0	2030
7 - Casa das Bifanas (Continente)*	623	880	1050	1407	1700	0	830	0

Legenda

* Exceto 2ª feira

Tabela 2.11: Distância – Rota 1 da Recolha 4

Rota 1	Re-Food	Padaria Portuguesa	Honorato	Ten_to_Ten (Telheiras Norte)	Ten_to_Ten (Telheiras)	Stuppendo (Continente)	UAI *	Casa das Bifanas (Continente)*
Re-Food	0	2	3	2	3	3	2	3
1 - Padaria Portuguesa	2	0	4	3	3	5	1	5
2 - Honorato	3	1	0	4	4	6	1	6
3 - Ten_to_Ten (Telheiras Norte)	2	3	3	0	6	4	3	4
4 - Ten_to_Ten (Telheiras)	4	3	6	6	0	5	3	5
5 - Stuppendo (Continente)	2	3	3	4	3	0	3	0
6 - UAI *	2	1	4	3	3	5	0	5
7 - Casa das Bifanas (Continente)*	2	3	3	4	3	0	3	0

Legenda

* Exceto 2ª feira

Tabela 2.12: Tempo de Percurso em minutos – Rota 1 da Recolha 4

Rota 2	Re-Food	UAI *	Casa das Bifanas (Continente)*	Xiang	Manga e Pimenta	Kaffa Coffe Zone	Coffe Bean & Tea Leaf	Don Tapas	T'Lounge	Nosso Sítio
Re-Food	0	530	618	1135	300	270	234	185	176	168
6 - UAI *	530	0	841	865	226	260	290	340	350	360
7 - Casa das Bifanas (Continente)*	618	841	0	539	621	591	551	503	494	485
8 - Xiang	1135	865	539	0	837	871	901	951	961	971
9 - Manga e Pimenta	300	226	621	837	0	29	65	120	120	130
10 - Kaffa Coffe Zone	270	260	591	871	29	0	37	86	94	100
11 - Coffe Bean & Tea Leaf	234	290	551	901	65	37	0	49	58	66
12 - Don Tapas	185	340	503	951	120	86	49	0	9	17
13 - T'Lounge	176	350	494	961	120	94	58	9	0	9
14 - Nosso Sítio	168	360	485	971	130	100	66	17	9	0

Legenda

* Exceto 2ª feira

Tabela 2.13: Distâncias – Rota 2 da Recolha 4

Rota 2	Re-Food	UAI *	Casa das Bifanas (Continente)*	Xiang	Manga e Pimenta	Kaffa Coffe Zone	Coffe Bean & Tea Leaf	Don Tapas	T'Lounge	Nosso Sítio
Re-Food	0	07:04	08:14	15:08	04:00	03:36	03:07	02:28	02:21	02:14
6- UAI *	07:04	0	11:13	11:32	03:01	03:28	03:52	04:32	04:40	04:48
7- Casa das Bifanas (Continente)*	08:14	11:13	0	07:11	08:17	07:53	07:21	06:42	06:35	06:28
8- Xiang	15:08	11:32	07:11	0	11:10	11:37	12:01	12:41	12:49	12:57
9- Manga e Pimenta	04:00	03:01	08:17	11:10	0	00:39	00:52	01:36	01:36	01:44
10- Kaffa Coffe Zone	03:36	03:28	07:53	11:37	00:39	0	00:49	01:09	01:15	01:20
11- Coffe Bean & Tea Leaf	03:07	03:52	07:21	12:01	00:52	00:49	0	00:39	00:46	00:53
12- Don Tapas	02:28	04:32	06:42	12:41	01:36	01:09	00:39	0	00:12	00:23
13- T'Lounge	02:21	04:40	06:35	12:49	01:36	01:15	00:46	00:12	0	00:12
14- Nosso Sítio	02:14	04:48	06:28	12:57	01:44	01:20	00:53	00:23	00:12	0

Legenda

* Exceto 2ª feira

Tabela 2.14: Tempo de Percurso em minutos e segundos – Rota 2 da Recolha 4

Tal como já foi referido anteriormente, a equipa de voluntários deverá partir do cento de operações passar por todos os parceiros alimentares uma única vez e regressar ao centro de operações com os desperdícios alimentares recolhidos.

No universo *Re-Food* as rotas definidas envolvem aspetos geográficos e temporais. Pretende-se que a equipa de voluntários parta do centro de operações faça a recolha dos alimentos junto dos parceiros alimentares e volte ao centro de operações onde os alimentos serão devidamente acondicionados. O objetivo é minimizar a distância percorrida pela equipa de voluntários, garantindo que são respeitadas as janelas temporais de cada parceiro alimentar. Este problema pode ser modelado como um Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem – TSP*) com restrições de janelas temporais (*Traveling Salesman Problem With Time Windows – TSPTW*)

Para este problema apresenta-se um modelo em programação linear inteira mista (PLM). A obtenção de soluções ótimas para este problema foi feita recorrendo ao uso da linguagem *Moosel*, *XPRESS-MP*.

Capítulo 3 – Problema do Caixeiro Viajante

O Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem* - TSP) (Nils, 1982) é um dos problemas de otimização combinatória (problemas que requerem a maximização ou minimização de uma função objetivo) que tem sido alvo de muita investigação ao longo das últimas décadas, e isto deve-se à sua aplicação prática (Bellmore e Nemhauser, 1968; Burkard, 1979; Reinelt, 1994) e grande complexidade de resolução (Papadimitriou e Steiglitz, 1982). Apesar de ser um problema de fácil descrição e compreensão, apresenta uma grande dificuldade na obtenção da solução ótima quando se consideram problemas com um grande número de clientes. Este problema pertence à classe dos problemas NP-hard (Karp, 1975).

Para descrever este problema podemos pensar num caixeiro viajante que precisa de visitar um conjunto de clientes, e todos estes clientes se encontram em diferentes cidades. Pretende-se determinar por que ordem é que o caixeiro viajante deve visitar as cidades partindo de uma qualquer cidade, passando por cada cidade uma única vez, e retornando à cidade de onde partiu. O problema tem como objetivo encontrar o ciclo⁹ *Hamiltoniano* (Murty, 1985) de menor custo em um grafo. O grafo é um conjunto de nós e arcos, os nós (ou vértices) são as localizações dos clientes, já os arcos (ou arestas) são as linhas que fazem a ligação entre os nós, por exemplo ruas, estradas, entre outros. O ciclo *Hamiltoniano* é um ciclo que passa por todos os nós de um grafo e retorna ao nó de origem, passando uma única vez por cada nó.

Existem muitos algoritmos desenvolvidos utilizados para encontrar o percurso ótimo. Mas para grandes instâncias o número de soluções cresce exponencialmente.

O presente capítulo apresenta uma breve revisão da literatura que serviu de base para este trabalho no que diz respeito ao problema em estudo. Em seguida será definido o problema do caixeiro viajante e serão mencionadas algumas das várias aplicações do problema no mundo real. Serão apresentados alguns métodos, tanto exatos como heurísticos aplicados ao Problema do Caixeiro Viajante. Por fim, serão abordados sucintamente algumas variantes do problema que são fundamentais para a resolução do problema apresentado neste trabalho.

⁹ Neste trabalho a designação ciclo e circuito referem-se indiferenciadamente ao caso não orientado e orientado.

3.1 Revisão da Literatura

As origens do Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem* - TSP) não são claras, Dantzig et al. (1954), pois não existe registro que indique quem foi o primeiro a usar a designação TSP (Applegate et al., 2007). Acredita-se que a primeira menção ao TSP foi feita por Leonhard Euler em 1759, ao apresentar o problema que consistia em deslocar o cavaleiro do jogo de xadrez por todas as casas do tabuleiro exatamente uma única vez (Zbigniew, 1994). Mas foi em 1832 que este tema ganhou notoriedade com o livro sobre como ser um vendedor ambulante de sucesso, escrito pelo vendedor alemão BF Voigt (Zbigniew, 1994). Neste livro é mencionado o problema, embora não com esta designação de TSP, nesta publicação o autor também apresenta alguns exemplos através de rotas¹⁰ pela Alemanha e Suíça, embora não apresente qualquer tratamento matemático.

No século XIX, problemas matemáticos relacionados com o TPS foram estudados pelo matemático irlandês William Rowan Hamilton e pelo britânico, também matemático, Thomas Penyngto Kirkman. Em 1857 foi publicado o primeiro estudo sobre problemas matemáticos relacionados com o TSP. Nele o matemático William Rowan Halmilton apresenta um jogo designado por *Jogo Hamiltoniano* ou de *Jogo Icosian* (Ball e Coxeter 1987), tem como objetivo encontrar um *Ciclo Hamiltoniano* ao longo das bordas de um dodecaedro, ou seja um caminho no qual cada vértice é visitado uma única vez, à exceção do vértice inicial que terá de ser o mesmo que o final.

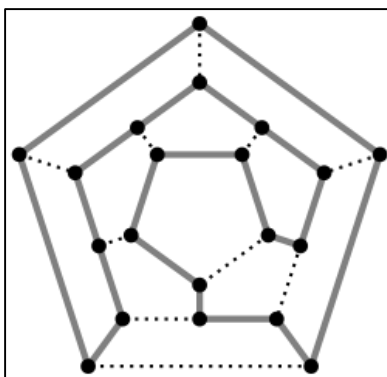


Imagem 3.1: Exemplo de um Ciclo *Hamiltoniano*
Fonte: Goldberg e Luna (2000)

¹⁰ No contexto, rota é um ciclo (circuito) completo que visita todos os clientes (cidades ou instâncias) uma só vez.

Em 1932 o matemático e economista Karl Menger decide estudar o TSP (Menger, 1932) , este observou que seria possível implementar um algoritmo que comparasse todas as soluções possíveis e assim obter a solução ótima do problema. Mas também constatou que se o número de cidades a ser visitada fosse muito grande seria impossível enumerar todas as permutações. De forma a suplantar essa impossibilidade Menger usou a heurística do vizinho mais próximo. O autor concluiu que a utilização desta heurística não seria capaz de produzir a melhor solução em todas as instâncias do problema. Normalmente é atribuído a Menger (Menger, 1932) o primeiro trabalho sobre TSP, nos anos seguintes foram publicados diversos trabalhos. Mas foi em 1949 que o nome “*Traveling Salesman Problem*” foi utilizado pela primeira vez por Robinson (Robinson, 1949). Desde então, inúmeros trabalhos de pesquisa e livros foram publicados sobre o TSP e suas variantes.

Os métodos aplicados na resolução do TSP têm-se tornado cada vez mais complexos, com o passar dos anos houve um aumento tanto na investigação como na criação de métodos para a resolução do problema. Através da tabela seguinte é possível verificar a grande evolução na resolução de problemas com um número cada vez maior de cidades. Segundo “*Word TSP*”¹¹ a maior instância ainda não resolvida tem 1.904.711 cidades.

Ano	Equipa de Investigação	Número de Cidade
1954	G. Dantzig, R. Fulkerson, e S. Johnson	49
1971	M. Held e Karp RM	64
1975	PM Camerini, L. Fratta, e F. Maffioli	67
1977	M. Grötschel	120
1980	H. Crowder e MW Padberg	318
1987	M. e G. Padberg Rinaldi	532
1987	M. Grötschel e O. Holland	666
1987	M. e G. Padberg Rinaldi	2.392
1994	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, e W. Cook	7.397
1998	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, e W. Cook	13.509
2001	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, e W. Cook	15.112
2004	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, W. Cook, e K. Helsgaun	24.978

Tabela 3.2: Evolução do número de cidades

Fonte: *Word TSP*

¹¹ <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/world/index.html>

A aplicação do TSP vai para além do problema de planeamento de rotas de um caixeiro viajante este estende-se por várias áreas desde a matemática, à ciência computacional, da genética à eletrônica.

3.2 Definição do Problema do Caixeiro Viajante

Seja $G = (V, A)$ um grafo onde $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ é o conjunto de n nós (ou vértices) e $A = \{a_{ij}\}$ é o conjunto dos arcos (ou arestas) $\forall i, j \in V$ e $i \neq j$. Sendo C a distância (ou o custo), em que $C = (c_{ij})$ com $(i, j) \in A$.

O TSP consiste em determinar o circuito com a distância mínima total, passando por cada vértice apenas uma única vez. Este ciclo é conhecido como um *Ciclo Hamiltoniano*.

Em várias aplicações, C também pode ser interpretado como um custo ou matriz de tempo de viagem. Será útil distinguir entre os casos em que C é simétrica ou assimétrica. Assim sendo, sabemos que estamos perante um problema simétrico quando $c_{ij} = c_{ji}$ para todo $i, j \in V$ (Applegate, D., et al., 1998). Neste caso o número total de soluções possíveis é de $(N - 1)!/2$, segundo Dantzig et al., (1954) é classificado como NP-hard, sendo difícil obter uma solução ótima em tempo razoável. Nos casos em que $c_{ij} \neq c_{ji}$ estamos perante um problema assimétrico (Fischetti M. e Toth P., 1997), neste caso o número total de soluções possíveis é $(N - 1)!$, onde N é o total de vértices.

Também, C deverá satisfazer a desigualdade triangular, ou seja $c_{ij} + c_{jk} \geq c_{ik}$ para todo $i, j, k \in V$. Quando isto ocorre é normalmente denominado por problema *Euclidiano*, ou seja, quando V é um conjunto de pontos em \mathbb{R}^2 e c_{ij} é a distância linear entre i e j .

3.3 Aplicações Práticas do TSP

A aplicação do TSP vai para além de um problema de planeamento de rotas do caixeiro-viajante. Este estende-se por diversas aplicações reais na área da indústria, transportes, genética, entre outras. Em seguida serão enumeradas algumas das aplicações práticas do TSP.

Ligações nas placas de um computador

Uma das mais antigas aplicações do TSP foi relatada em 1974 por Lenstra e Rinnooy Kan, esta envolve a conexão de uma placa de computador a um subconjunto de pinos. Os módulos encontram-se na placa do computador e onde não mais do que dois fios podem ser ligados a cada pino.

Assim, temos como problema encontrar um caminho¹² *Hamiltoniano*, sem pontos de partida e de chegada específicos. Uma situação semelhante ocorre no caso da ligação de um sistema de *hardware* chamado de *testbus*.

Para testar a placa produzida tem que se realizar uma ligação que entra na placa em um determinado ponto, é executado através de todos os módulos, e termina num determinado ponto. Cada módulo também tem uma entrada e saída especificada e ponto de partida para este teste de ligação. Este problema também equivale a resolver um problema de determinar um caminho *Hamiltoniano* num grafo. Ao contrário do problema anterior, neste as distâncias não são simétricas e os pontos de partida e de chegada são específicos.

Separação de pedidos em armazém

Ratliff e Rosenthal, (1983), relatam um problema associado à manipulação de materiais em um armazém. Neste caso existe um determinado subconjunto dos itens armazenados no armazém e estes deverão ser colocados e transportados do armazém até ao cliente. Os veículos deverão coletar todos os itens do mesmo pedido e transportá-los até ao cliente. Os locais de armazenamento dos itens correspondem aos nós do grafo. A distância entre dois nós é dado pelo tempo necessário para mover o veículo de um local para o outro.

O problema de encontrar a rota com o menor custo para o veículo, com o tempo mínimo de recolha num armazém pode ser modelado como um TSP.

Manutenção de motores de turbina a gás

Plante et al., (1987) referem a inspeção de motores de turbina a gás de aeronaves. Para garantir um fluxo de gás uniforme através das turbinas existem os chamados conjuntos de pás, localizadas em cada andar de turbina. Todas as palhetas apresentam características individuais e a sua correta colocação pode resultar em benefícios substanciais (redução das vibrações, aumentar a uniformidade de fluxo, redução do consumo de combustível). O problema de

¹²Entenda-se por caminho *Hamiltoniano* um caminho que passa por todos os nós do grafo sem os repetir.

colocar as palhetas da melhor forma possível pode ser modelado como um TSP com uma função objetivo especial, segundo os autores.

Cristalização com raio-X

A análise da estrutura de cristais (Bland e Shallcross, 1989; Dreissig e Uebach, 1990) é uma aplicação importante do TSP. O difratômetro de raio-X é utilizado para obter informações sobre a estrutura do material cristalino. Para este fim, um detetor mede a intensidade dos reflexos de raios X do cristal em uma série de posições. Considerando que a medição pode ser em si realizada rapidamente, no entanto, para algumas experiências há uma sobrecarga considerável uma vez que o número de posições pode ser na ordem das centenas de milhares. O tempo necessário para passar de uma posição para a outra pode ser calculado com muita precisão. O resultado da experiência não depende da sequência em que as medições são tomadas nas várias posições. No entanto, o tempo total necessário para a experiência depende da sequência. Por conseguinte, o problema consiste em encontrar uma sequência que minimiza o tempo total de posicionamento dos detetores de raio-X. Isto leva-nos a um problema do caixeiro viajante.

Perfuração de placas de circuitos eletrônicos

Grötschel et al., (1991) relatam uma aplicação direta do TSP ao problema de perfuração de placas de circuitos elétricos, para conectar um condutor em uma camada com um condutor em outra camada. Estes furos podem ser de diferentes diâmetros. Fazer dois furos consecutivos de diâmetros diferentes faz com que o braço robótico da máquina tenha de se mover até à caixa de ferramentas para fazer a alteração do equipamento de perfuração. Esta é uma tarefa que consome bastante tempo. Assim, é evidente que se deve escolher um diâmetro, perfurar todos os furos do mesmo diâmetro, alterar a broca, fazer todos os furos do próximo diâmetro e assim sucessivamente. Assim, este problema de perfuração pode ser visto como uma série de TSP, uma para cada diâmetro. Ou seja, neste caso as "*idades*" são a posição inicial e o conjunto de todos os furos que podem ser feitos com a mesma broca. A "*distância*" entre duas cidades neste caso é o tempo que o braço robótico leva para ir de uma posição para outra. O objetivo é minimizar o tempo de viagem do braço robótico.

Planeamento de rotas de veículos (*Vehicle routing*)

Presumindo que numa cidade n caixas de correio tem que ser esvaziadas a cada dia durante um certo período de tempo, digamos uma hora. O problema tem como objetivo encontrar o número mínimo de camiões para fazer essa recolha e o menor tempo para fazer as recolhas, usando este número de camiões. Um outro exemplo, supondo que os clientes exigem determinadas quantidades de determinados produtos e um fornecedor tem que satisfazer o problema com uma frota de camiões. O problema é encontrar um conjunto de clientes para o camião, e um cronograma de entrega para cada camião de modo a que a capacidade de cada camião não seja excedida e a distância total de viagem seja mínima. Diversas variações destes dois problemas, combinado o tempo e capacidade como restrições, são comuns em muitas aplicações do mundo real. Este problema pode ser resolvido como um TSP se não houver restrições de tempo e de capacidade e se o número de camiões for fixo (digamos m). Neste caso obtemos m – problemas do caixeiro viajante. No entanto, pode-se aplicar métodos do TSP para encontrar boas soluções viáveis para este problema (Lenstra e Rinnooy Kan, 1974).

Além das aplicações mencionadas outros exemplos podem ser encontrados na literatura, pois existem inúmeros problemas que retratam situações reais que usam o TSP ou as suas variantes como modelo (Cunha, Bonasser, Abrahão, 2002). Alguns exemplos:

- Agendamento de máquinas (Gilmore e Gomory, 1964);
- Junção de dados (Lenstra, 1974);
- Processo de perfuração em dispositivos eletrônicos (Magirou, 1986);
- Planeamento dos cortes de vidros (Madsen, 1988);
- Sequenciamento de DNA (Ben-Dor e Chor, 1997);
- Inspeções em plataformas petrolíferas (Cook et al., 1998);
- Rota de um carteiro (Pearn e Chou, 1999);
- Movimentação automática de telescópios para observações de fenômenos espaciais (Chlond, 2002);
- Planeamento de visita a clientes (Bell e McMullen, 2004);
- Recolha de dados sísmico geofísico (Gutin et al., 2005);
- Organização de lista de reprodução de música em um dispositivo portátil (Pohle et al., 2005);
- Definição da rota de autocarros escolares (Park e Kim, 2010).

3.4 Metodologias aplicadas na resolução do TSP

3.4.1 Algoritmos exatos para o TSP

Os denominados métodos exatos visam encontrar a melhor solução para o problema, ou seja, a solução ótima. Uma maneira intuitiva de encontrar soluções ótimas para o TSP seria considerar todas as possibilidades, no entanto esta estratégia é inviável para problemas de grande porte em virtude do número elevado de combinações possíveis. Para ultrapassar esta dificuldade, foram desenvolvidas formas de resolução do problema, baseadas na programação inteira, assegurando uma solução ótima em tempo finito ou provar que uma solução admissível não existe (Prestes, 2006). Alguns dos métodos que utilizam essa técnica são: *Branch & Bound*, *Branch & Cut*, *Branch & Price*, Relaxação Lagrangeana e Programação Dinâmica (Dumitrescu e Stützle, 2003). Outras abordagens exatas aplicadas ao TSP podem ser encontradas em Laporte (1992).

3.4.2 Algoritmos Heurísticos para o TSP

Como foi referido anteriormente, nos modelos exatos em que as dimensões são elevadas não é possível resolver em tempo admissível o problema, sendo nestes casos necessário implementar métodos heurísticos. Os métodos heurísticos não garantem uma solução ótima, mas permitem encontrar boas soluções em um curto espaço de tempo. O grande desafio desta abordagem é produzir, em tempo mínimo, soluções tão próximas quanto possível da solução ótima.

Os algoritmos heurísticos podem ser genericamente classificados de duas formas: algoritmos construtivos e de melhoramento. Os primeiros constroem a rota adicionando sucessivamente um novo nó em cada etapa, ou seja, constrói uma solução a partir do zero, atribuindo valores a uma ou mais variáveis de decisão. Os segundos, partem de uma solução admissível e com sucessivas iterações vai-se retirando e adicionando componentes à solução. A solução obtida em cada iteração terá que ser melhor que a determinada anteriormente.

As heurísticas compostas são heurísticas que combinam as duas abordagens anteriores, isto é, primeiro é utilizada uma heurística construtiva para gerar uma solução admissível. Em seguida é aplicada um procedimento de melhoramento com o intuito de otimizar a rota obtida anteriormente.

3.4.2.1 Heurísticas Construtivas

Na literatura, as heurísticas construtivas são normalmente utilizadas para gerar soluções iniciais para outros métodos heurísticos. Seguidamente será feita uma breve descrição de algumas heurísticas construtivas que podem ser aplicadas na resolução do TSP.

Vizinho mais Próximo

Esta é considerada a heurística mais simples para o TSP (Matai R., Singh S. e Mittal M., 2010). Segundo Solomon (Solomon, 1987), o percurso é construído tendo como base uma matriz com a distância entre os nós. Primeiro, seleciona-se aleatoriamente um nó, em seguida adiciona-se o nó mais próximo do último adicionado. Os restantes nós são adicionados ao percurso conforme a sua distância ao nó inserido anteriormente. Este processo repete-se até que todos os nós sejam inseridos.

Em suma, a filosofia desta abordagem é acrescentar ao circuito sempre o nó (ainda não adicionado) mais próximo do último inserido. A complexidade polinomial associada a esta abordagem heurística é de $O(n^2)$ (Johnson e McGeoch 1997). As etapas para este procedimento são as seguintes:

1. Iniciar o percurso selecionando um nó aleatoriamente;
2. Encontrar o nó ainda não adicionado mais próximo do último inserido, e adicioná-lo ao circuito;
3. Repetir a etapa 2 até que não existam mais nós a adicionar;
4. Regressar ao primeiro nó.

Inserção do menor custo.

Esta heurística consiste em gerar um circuito admissível partindo de um circuito inicial constituída por dois nós, em cada etapa vai sendo inserido o nó (ainda não adicionado) que apresenta o menor custo de inserção. Para isso é necessário avaliar o custo de inserir cada nó, ainda não adicionado, entre cada par de nós i e j pertencentes à rota que está a ser construída. Insere-se o nó escolhido de modo a minimizar o custo de inserção. As etapas para este procedimento são as seguintes:

1. Iniciar com um sub-circuito constituído apenas pelo nó i ;

2. Adicionar o nó k que apresenta a menor distância a i . Forma-se o circuito (i, k, i) ;
3. Para todo o nó k ainda não inserido no circuito, determinar o arco (i, j) do subcircuito que minimize $c_{ik} + c_{kj} - c_{ij}$. Inserir k entre i e j ;
4. Voltar à etapa 3 até que um *ciclo hamiltoniano* esteja construído.

Inserção mais afastada

Esta heurística consiste em determinar em cada iteração o nó k que não pertence ao circuito, mais afastado de qualquer nó do circuito. Insere-se o nó escolhido no circuito de forma a minimizar o custo de inserção. As etapas para este procedimento são as seguintes:

1. Iniciar o subcircuito apenas com o nó i ;
2. Adicionar o nó k com a maior distância a k (c_{ik}), formando o subcircuito (i, k, i) ;
3. Adicionar o nó k não pertencente ao subcircuito, mais distante de qualquer nó pertencente ao subcircuito;
4. Determinar o arco (i, j) do subcircuito que minimize $c_{ik} + c_{kj} - c_{ij}$. Inserir k entre i e j ;
5. Voltar à etapa 3 até que um *ciclo hamiltoniano* esteja construído.

Greedy

A heurística *Greedy* vai gradualmente construindo a rota selecionando repetidamente o arco que apresenta o menor custo.

Esta heurística em termos de execução é mais demorada que a heurística do vizinho mais próximo. Complexidade da heurística *Greedy* é $O(n^2 \log_2(n))$. Resumidamente as etapas para este procedimento são as seguintes:

1. Classificar todos os arcos;
2. Selecione o arco com o menor custo e adiciona-lo no subcircuito;
3. Repetir a etapa 2 até que todos nós estejam incluídos no circuito.

3.4.2.2 Heurísticas de Melhoramento

A heurística de melhoramento é utilizada para melhorar uma solução admissível, obtida por outro método heurístico de entre os construtivos. Exemplos de heurísticas de melhoramento: 2-Optimal, 3-Optimal, k -Optimal e *Neighborhood search algorithms*.

2-Optimal e 3- Optimal (2-opt e 3-opt)

Esta heurística inicia com uma solução admissível obtida aleatoriamente ou através de uma heurística construtiva. Em cada iteração vão-se fazendo melhorias consecutivas a essa solução. Segundo Croes (1958) o algoritmo 2-opt basicamente remove dois arcos não consecutivos em cada iteração e insere outros dois arcos de modo a obter uma nova solução admissível alterando o circuito anterior, o resultado da troca pode ser um circuito com um comprimento inferior ao do circuito anterior à troca. Este processo é repetido até que não exista mais nenhuma troca admissível. Se não existir mais movimentos 2-opt, diz-se que a solução é 2-optimal se não existir nenhuma solução melhor.

O algoritmo de 3-opt funciona de uma forma semelhante ao algoritmo 2-Optimal, este também parte de uma solução admissível, mas ao invés de remover dois arcos removem-se três. Isto significa que existem duas maneiras de voltar a ligar os três caminhos originando um circuito admissível. Termina-se quando não existem mais movimentos 3-opt que possam melhorar o circuito obtido. A solução é 3-optimal se não existir nenhuma solução melhor.

As etapas para estes dois procedimentos são as seguintes:

1. Determinar uma solução admissível para TSP;
2. Retirar 2 arcos do circuito atual para o caso de 2-opt e 3 arcos para o caso 3-opt, verificar todas as possíveis trocas e escolher a melhor solução.
3. Repetir a etapa 2 até que não exista nenhum conjunto de arcos por selecionar.

K - Optimal (k -opt)

O procedimento do algoritmo k -opt é semelhante ao algoritmo 2-otp e 3-opt, pois todos têm como objetivo melhorar um percurso já existente recorrendo à troca de k arcos. Os algoritmos 2-opt e 3-opt são casos particulares do k -opt, para $k=2$ e $k=3$ respetivamente. De uma maneira geral, a qualidade do algoritmo aumenta quanto maior for o k , pois resulta num maior

número de possível trocas de arcos. Contudo, o tempo necessário para resolver o algoritmo também vai aumentar consideravelmente.

A solução é k -optimal se for impossível melhorá-la trocando k arcos do mesmo por outro conjunto de k arcos ([Helsgaun, 2000](#)).

Neighborhood Search algorithms

Large Neighborhood Search (LNS) é um método iterativo que tal como os anteriores, se inicia a partir de uma solução admissível. Esta vai sendo gradualmente melhorada usando alternadamente métodos de destruição e de reconstrução de parte da solução atual ([Pisinger e Ropke, 2010](#)). É fundamental definir o grau de destruição da solução. Caso seja destruída uma pequena parte da solução, o algoritmo poderá ter dificuldades em explorar um conjunto de soluções. Por outro lado, se for destruída uma grande parte da solução serão geradas bastantes soluções de reduzida qualidade e haverá um grande consumo de tempo. Por esta razão, uma vizinhança maior não produz necessariamente uma heurística mais eficaz ([Ahuja et al. 2002](#)).

Na fase de reconstrução, os elementos que na etapa anterior foram destruídos serão recolocados em novas posições, até que uma nova solução seja melhor que a solução obtida até ao momento. O processo só termina quando os critérios de paragem forem satisfeitos, como, por exemplo, após um determinado tempo de processamento ou número de iterações. É importante referir que o LNS não avalia toda a vizinhança, mas apenas parte dela, o que faz com que o método facilmente possa atingir inúmeras soluções.

No capítulo seguinte este tema será um pouco mais aprofundado.

3.5 Variantes do TSP

Dada a ampla aplicabilidade do TSP em situações reais, diversas variantes do problema têm sido desenvolvidas ao longo dos anos. Até ao momento apenas foi abordado como um problema em que existe apenas um veículo (ou pessoa) que tem visitar um conjunto de clientes. Mas se ao clássico TSP forem adicionados pressupostos e restrições resultará um novo conjunto de problemas. Em seguida serão apresentadas algumas das variantes do TSP.

3.5.1 Determinação de Rotas para veículos resolvido como um Problema de m- Caixeiro Viajante (*m-Traveling Salesman Problem*)

Ao contrário do TSP em que existe apenas um caixeiro viajante o *m-Traveling Salesman Problem* (*m-TSP*) apresenta um conjunto de caixeiros viajantes. No *m-TSP* são dadas n cidades, m caixeiros viajantes e um depósito. Todas as cidades devem ser visitadas exatamente uma vez em um dos m circuitos, começando e terminando no depósito.

O *m-TSP* atribui a cada caixeiro viajante um circuito para que cada cliente seja visitado por um caixeiro viajante e que o custo total de visitar todos os clientes seja o mínimo possível, assim sendo este problema pode ser transformado em um TSP assimétrico envolvendo apenas um caixeiro viajante (Jünger al., 1995).

3.5.2 Problema do Caixeiro Viajante com Entregas e Recolhas (*Traveling Salesman Problem Pick up and Delivery - TSPPD*)

No TSPPD a cada cliente está associada a entrega de um determinado bem e uma recolha de um outro bem. Sendo assim o veículo com uma determinada capacidade parte do depósito e visita cada cliente uma única vez. Assim como o TSP, este problema tem como objetivo determinar o circuito com o custo mínimo sem que a capacidade do veículo seja excedida. Assim, quando um cliente tem uma entrega e uma recolha estas não podem ser efetuadas separadamente, e a entrega deverá ser a primeira a realizar-se.

Gendreau, Laporte e Vigo (1999) desenvolveram diversas heurísticas, em que umas se baseiam em soluções exatas de um caso especial e outras baseadas na pesquisa tabu.

3.5.3 Problema do Caixeiro Viajante com Janelas Temporais (TSPTW)

O problema do caixeiro-viajante com janelas temporais (TSPTW), tem como objetivo determinar o custo mínimo de visitar um conjunto de clientes exatamente uma vez tendo em conta as restrições das janelas temporais. Este percurso deverá começar e terminar no depósito. Cada cliente deverá ser visitado dentro de um determinado período de tempo. Neste problema, as chegadas antecipadas aos clientes implicam um tempo de espera até que se inicie a janela temporal correspondente, naturalmente não é admitido chegar ao cliente após o horário estabelecido pelas

janelas temporais. O TSPTW é uma generalização do TSP logo é classificado como NP-hard. Savelsberg (1985) mostrou que até mesmo encontrar uma solução admissível para o TSPTW é NP-complete. O TSPTW foi resolvido na literatura utilizando tanto algoritmos exatos (Dumas et al. 1995; Focacci, Lodi, Milano, 2002; Gendreau et al. 1998) como heurísticas (Gendreau et al. 1998; Savelsberg, 1985).

3.5.4 Modelo Matemático para o TSPTW

Seja $G = (V, A)$ um grafo onde $V = \{1, 2, \dots, n\}$ é o conjunto de n clientes, onde 0 representa o depósito, e $A = \{(i, j) : i, j \in V \cup \{0\}, i \neq j\}$ é o conjunto de arcos entre os clientes. O custo de ir do cliente i para o cliente j é representado por c_{ij} . Cada cliente i tem uma janela temporal associadas $[a_i, b_i]$.

O problema consiste em determinar a rota com a menor distância, passando por cada cliente uma única vez respeitando as janelas temporais, e iniciando e terminando a rota no depósito.

Este problema pode ser formulado em programação inteira mista. Sejam x_{ij} , variáveis binárias tal que x_{ij} toma o valor de 1 se e só se o cliente j (ou armazém caso $j = 0$) for visitado imediatamente depois do cliente i (ou o armazém caso $i = 0$); e 0 caso contrário (Silva e Urrutia, 2010).

Segundo Desrosiers et al. (1995), assumindo que existe um conjunto de nós a ser visitado $N = \{1, \dots, n\}$ mais o depósito. Duplicando o depósito, considera-se 0 o depósito de partida e d o de chegada, assim temos que $V = N \cup \{0, d\}$, associado a cada nó $i \in V$ a janela temporal $[a_i, b_i]$. A constante a_0 é a hora mais cedo de partida do depósito, enquanto que b_d é a hora mais cedo de chegada. A cada arco $(i, j) \in A$ associa-se um valor t_{ij} (não negativo) e um custo c_{ij} .

Segundo o autor, assume-se que o tempo de serviço ao cliente i incluiu o valor do tempo no tempo t_{ij} , para todo $i \in N \cup \{0\}$. Um arco $(i, j) \in A$ é admissível se a seguinte condição se verificar:

$$a_i + t_{ij} \leq b_j, \quad i \in N \cup \{0\}, \quad j \in N \cup \{d\}, \quad i \neq j. \quad (1)$$

Visto que as chegadas antecipadas aos clientes implicam um tempo de espera, a variável T_i especifica o início do serviço ao cliente $i, i \in N \cup \{0\}$, enquanto que a variável T_d representa a hora de chegada ao armazém.

Partindo do armazém dentro do intervalo de tempo $[a_0, b_0]$, visitando cada um dos clientes exatamente uma vez, respeitando as suas janelas temporais, e terminado a rota armazém antes do limite de tempo b_d , a formulação pode ser apresentada do seguinte modo (Desrosiers et al. 1995):

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_{j \in N \cup \{d\}} x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0,j} = 1, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N \cup \{0\}} x_{i,j} - \sum_{i \in N \cup \{d\}} x_{j,i} = 0 \quad \forall i \in V \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,d} = 1, \quad (6)$$

$$x_{ij}(T_i + t_{ij} - T_j) \leq 0 \quad \forall (i,j) \in A \quad (7)$$

$$a_i \leq T_i \leq b_i \quad \forall i \in V \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A \quad (9)$$

$$x_{ij} \text{ binary}, \quad \forall (i,j) \in A. \quad (10)$$

Este é um programa não linear com $O((n+2)^2)$ variáveis e $O((n+2)^2)$ restrições, onde a função objetivo representa o custo total. O sub-problema definido por (2) - (5) e (9) é um problema de fluxo mínimo (de facto um problema de atribuição com $(n+2)$ linhas e $(n+2)$ colunas). As restrições (7) e (8) garantem a viabilidade horária.

Os sub-circuitos são eliminados pelas restrições (7). Utilizando um M maiúsculo como constante, estas restrições podem ser linearizada, e ser reescrito da seguinte forma (Desrosiers, Pelletier & Soumis, 1983; Solomon, 1983):

$$T_i + t_{ij} - T_j \leq M(1 - x_{ij}), \quad (7a)$$

A constante M pode ser substituído por $M_{ij} = \max\{b_i + t_{ij} - a_j, 0\}$ $(i,j) \in A$. Quando

$b_i + t_{ij} \leq a_j$, esta restrição é sempre satisfeita para quais quer valores que T_i , T_j e x_{ii} possam tomar. Assim a formulação requer as restrições (7) ou (7a) apenas para os arcos $(i, j) \in A$, de tal modo que $M_{ij} > 0$.

Capítulo 4 – Modelo e Métodos de Resolução para o caso de estudo

Como foi referido no Capítulo 2, o problema que se pretende modelar é um TSPTW. Este terá como dados a localização de todos os parceiros alimentares que são visitados numa mesma rota, e as janelas temporais que são impostas pelos parceiros alimentares.

Assumindo que as capacidades não são excedidas, a recolha dos excedentes alimentares é feita pelo grupo de voluntários. Estes saem do centro de operações, visitam cada parceiro alimentar uma única vez e retornam ao centro de operações.

Como são conhecidas as distâncias geográficas entre cada par de parceiros alimentares, e entre cada parceiro alimentar ao centro de operações, foi possível determinar o tempo médio necessário para percorrer cada distância.

Com este problema pretende-se determinar a distância mínima que o grupo de voluntários terá que percorrer iniciando e terminando o percurso no centro de operações, passando por todos os parceiros alimentares apenas uma vez, respeitando as janelas temporais estabelecidas. Para a resolução exata deste problema foi utilizado o *software Xpress* e a linguagem de modelação *Mosel*.

Foi também implementada uma heurística com uma fase construtiva e uma fase de melhoramento baseada na heurística *Large Neighborhood Search* (LNS), proposta por Shaw ([Shaw, 1997](#)). Esta heurística foi implementada usando a linguagem C++ do *software Visual Studio Express*. Nesta heurística parte-se de uma solução admissível, obtida na fase construtiva, que vai sendo gradualmente melhorada usando alternadamente métodos de destruição e de reconstrução.

4.1 Formulação do problema em estudo

O problema em estudo pode ser formulado como um TSPTW cujo modelo geral foi apresentado no capítulo 3. No caso particular da aplicação à *Re-Food* a notação é a que a seguir se apresenta.

Parceiros Alimentares

Existe um conjunto de parceiros alimentares $N = \{1, 2, \dots, n\}$, como se poderá ver na figura (4.1), com diferentes localizações, sendo o local 0 o centro de operações. A cada par de parceiros alimentares localizado no ponto i e j , pertencentes ao conjunto N , está associada uma distância d_{ij} e um tempo de percurso t_{ij} , ambos números reais positivos.

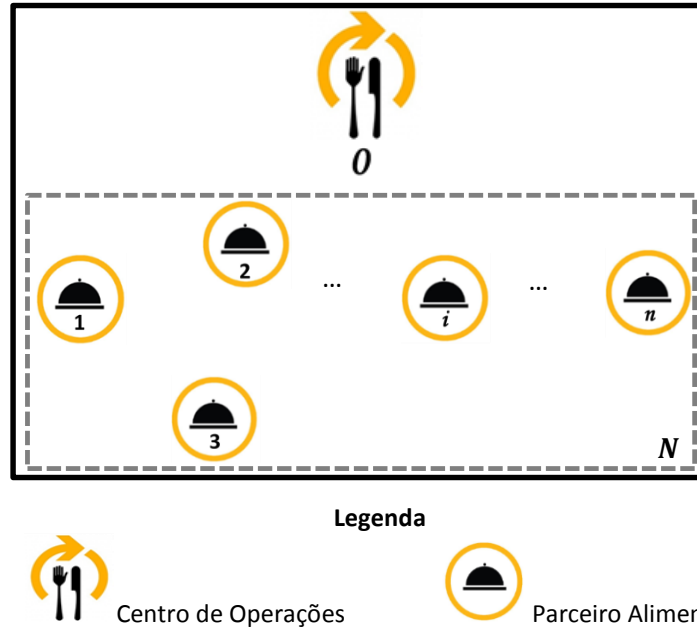


Imagem 4.1: Conjunto de N parceiros alimentares e centro de operações

Janelas Temporais

Cada parceiro alimentar pertencente ao conjunto N , tem janelas temporais restritivas, ou seja existe um intervalo de tempo previamente estabelecido para a recolha dos excedentes alimentares. Este intervalo designa-se por $[a_i, b_i]$, em que $a_i < b_i$, a recolha não poderá ser iniciada fora dos intervalos definidos. Caso o grupo de voluntários chegue antes do horário estabelecido estes terão que aguardar até à hora acordada. Será também considerado o tempo de serviço no parceiro alimentar i que é definido por s_i . Este tempo de serviço diz respeito à recolha e acondicionamento dos excedentes alimentares. Define-se β_i como o instante de chegada ao parceiro alimentar i . Assim sendo, o instante de chegada a um parceiro alimentar j será sempre maior ou igual que o

tempo de chegada ao parceiro alimentar i visitado imediatamente antes, mais o tempo de serviço em i mais ao tempo despendido no trajeto entre o parceiro alimentar i e j , ou seja:

$$\forall (i, j), i, j \in N \quad \beta_j \geq \beta_i + s_i + t_{ij}.$$

Índices

i, j Representam os parceiros alimentares

Parâmetros

n : Número total de parceiros alimentares;

t_{ij} : Tempo de trajeto do parceiro alimentar i ao parceiro alimentar j , com $i, j \in N$;

d_{ij} : Distância do parceiro alimentar i ao parceiro alimentar j , com $i, j \in N$;

s_i : Tempo de serviço no parceiro alimentar i , com $i \in N$;

a_i : Instante de tempo em que se pode iniciar a recolha dos desperdícios alimentares no parceiro alimentar i , com $i \in N$;

b_i : Instante de tempo mais tarde para a recolha dos desperdícios alimentares no parceiro alimentar i , com $i \in N$;

Variáveis

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o parceiro alimentar } i \text{ for visitado imediatamente antes} \\ & \text{do parceiro alimentar } j, \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad i, j \in N$$

Modelo

Como referido no capítulo anterior, este problema pode formular-se em programação linear inteira mista do seguinte modo:

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in N \cup \{0\}} \sum_{j \in N \cup \{0\}} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i \in N \cup \{0\}, i \neq j}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \cup \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N \cup \{0\}, i \neq j}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \cup \{0\} \quad (3)$$

$$\beta_j \geq \beta_i + t_{ij} + s_{ij} - M(1 - x_{ij}) \quad \forall i, j \in N \cup \{0\}, j \neq 0 \quad (4)$$

$$a_i \leq \beta_i \leq b_i \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \cup \{0\} \quad (6)$$

$$\beta_i \geq 0 \quad \forall i \in N \cup \{0\}, \quad (7)$$

A função objetivo (1) minimiza a soma das distâncias percorridas pelo grupo de voluntários. As restrições (2) e (3) garantem que cada parceiro alimentar é visitado uma única vez, como mostra a Imagem 4.2.

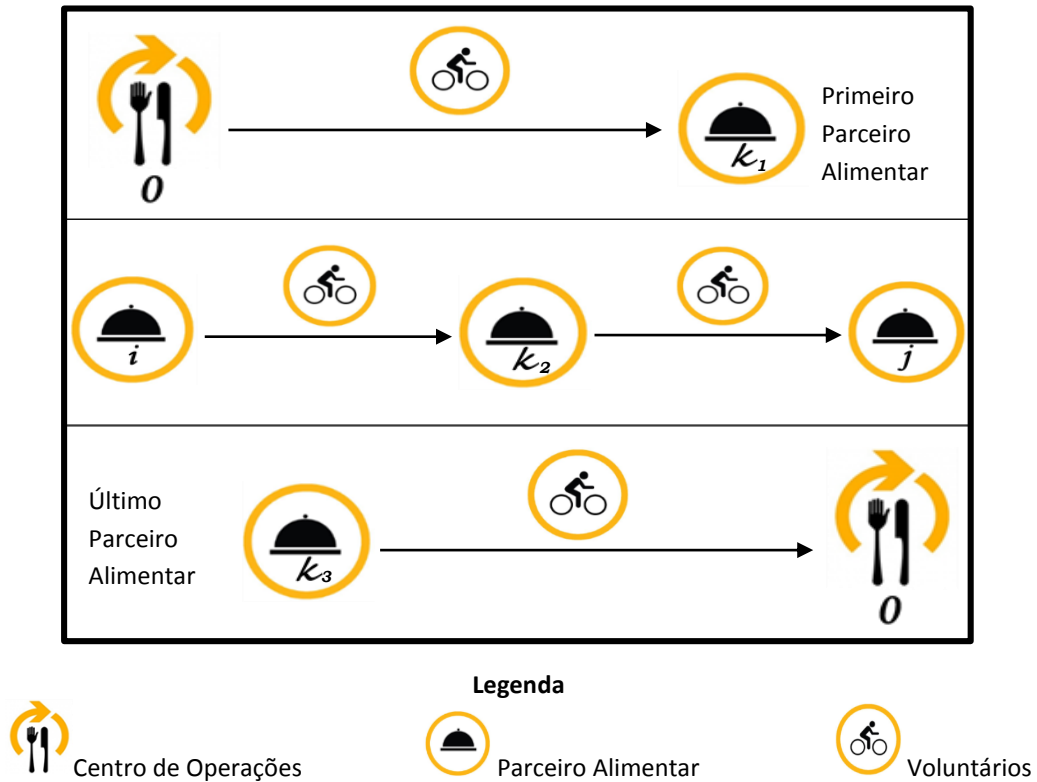


Imagem 4.2: Ilustração das restrições (2) e (3)

A restrição (4) garante que o tempo de chegada a um determinado parceiro alimentar não será menor que o tempo de chegada ao parceiro alimentar visitado imediatamente antes mais o seu tempo de serviço, mais o tempo de percorrer a distância entre ambos. A restrição (5) garante que as janelas temporais de cada parceiro alimentar são respeitadas. Neste caso são admitidas chegadas antecipadas aos parceiros alimentares implicando um tempo de espera até que se inicie a janela temporal correspondente. Esta restrição impede a criação de subciclos ou sub-circuitos, pois garante que o instante de chegada a um parceiro alimentar seja depois da saída do outro.

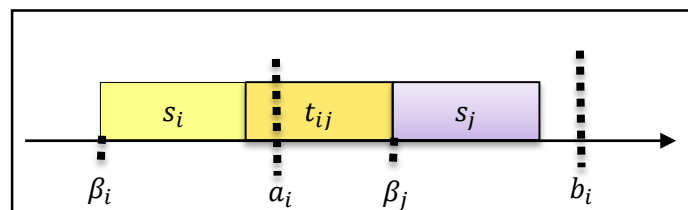


Imagem 4.3: Ilustração da restrição (4) e (5)

Para a resolução exata deste problema foi utilizada a linguagem de modelação *Mosel* usando o *software Xpress*. Os resultados obtidos serão apresentados no capítulo seguinte.

4.2 Descrição da Heurística usada

Foi implementada uma heurística com duas fases. A primeira fase é uma fase construtiva onde é obtida uma solução admissível. Na segunda fase tenta-se melhorar a solução obtida recorrendo a um método baseado na heurística *Large Neighborhood Search* (LNS) proposta por Shaw ([Shaw, 1997](#)). Nesta heurística parte-se de uma solução admissível, a qual vai sendo gradualmente melhorada usando alternadamente um método de destruição e de reconstrução de parte da solução atual, ou seja o método de reparação reconstrói a solução destruída.

Esta heurística pertence à categoria dos algoritmos heurísticos conhecidos como *Very Large-scale Neighborhood Search* (VLNS) tal como apresentado por [Ahuja et al. \(2002\)](#). Todos os VLSN baseiam-se na observação de uma grande vizinhança, procurando obter soluções de boa qualidade. Um aspeto crítico destes algoritmos está na escolha da dimensão da vizinhança. Segundo os autores, em geral, quanto maior a vizinhança, melhor é a qualidade das soluções ótimas locais. Contudo, quando a vizinhança é muito grande o tempo necessário de resolução é bastante elevado. Logo, uma grande vizinhança não reproduz necessariamente uma heurística mais eficaz, exceto se forem utilizados critérios que limitem essa procura.

Na primeira fase da heurística usada para resolver este problema é obtida uma solução admissível, isto é uma solução que parte do centro de operações (depósito), visita todos os parceiros alimentares uma única vez, e volta ao centro de operações respeitando as janelas temporais impostas.

Assim, considerou-se, na conceção desta heurística que mais importante do que a distância total percorrida pela equipa de voluntários, seria obter uma solução que fosse um circuito *Hamiltoniano* que respeitasse as restrições temporais. Em termos gerais a heurística construtiva usada está descrita no algoritmo 1.

Algoritmo 1: Heurística Construtiva

- 1 **Iniciar** o percurso no centro de Operações da *Re-Food* (depósito);
 - 2 **Ordenar** os parceiros alimentares por ordem crescente dos a_i (instante de tempo em que se pode iniciar a recolha dos desperdícios alimentares no parceiro alimentar);
 - 3 **Repetir**
 - 4 **Inserir** na solução o parceiro alimentar, ainda não adicionado, com o menor valor de a_i . **Se** a inserção for admissível em termos de janelas temporais voltar ao ponto 3. Caso contrário inserir numa posição anterior que seja admissível;
 - 5 **Até que** não existam mais parceiros alimentares
 - 6 **Regressar** ao centro de Operações da *Re-Food* (depósito).
-

Algoritmo 1: Heurística Construtiva

Algoritmo 2: Heurística LNS

- 1 **Função** LNS ($s \in \{solução\}, q \in \mathbb{N}$)
 - 2 solução $s_{melhor} := s$;
 - 3 **repetir**
 - 4 $s' = s$;
 - 5 remover q pedidos de s' ;
 - 6 reinsere os q pedidos removidos resultando em s' ;
 - 7 se s' for melhor do que s_{melhor} então
 - 8 $s_{melhor} := s'$;
 - 9 se s' satisfaz os critérios de aceitação então
 - 10 $s := s'$;
 - 11 **até que** os critérios de paragem sejam satisfeitos
 - 12 **retornar** s_{melhor} ;
-

Algoritmo 2: Pseudocódigo da Heurística VLN

Fonte: Adaptado de Ropke, S. e Pisinger, D. (2006a)

No algoritmo 2 está descrita a segunda fase, a fase de melhoramento da solução obtida anteriormente (baseada no conceito de LNS). O algoritmo pressupõe que já foi encontrada uma solução inicial admissível s' obtido pela heurística construtiva, respeitando as janelas temporais. Retira-se q parceiros, em que o parâmetro $q \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ determina o alcance da vizinhança, pois representa o número de parceiros alimentares que deverão ser removidos da solução (q será

gerado aleatoriamente). Com base no que está descrito na linha 5, serão removidos q parceiros alimentares da solução s' . Os parceiros alimentares retirados da solução são escolhidos aleatoriamente. Numa fase posterior os q parceiros alimentares são reinseridos na solução na posição admissível a que corresponde a inserção de menor custo. Assim que sejam atingidos os critérios de aceitação da solução s' , uma nova pesquisa é feita a partir desta. Quando s' for melhor que a melhor solução encontrada até o momento então s_{melhor} é atualizada com a solução s' (Pisinger, D. e Ropke, S. 2010). Este processo só é interrompido quando os critérios de paragem forem satisfeitos. Neste trabalho considerou-se como critério de paragem o número máximo de iterações igual a 10.

A implementação da heurística foi feita usando a linguagem *C++*, com o auxílio do *software Visual Studio Express*. Os resultados obtidos serão apresentado no capítulo seguinte.

Capítulo 5 - Apresentação e discussão dos resultados

Neste trabalho pretende-se minimizar a distância total percorrida pela equipa de voluntários respeitando as janelas temporais. Os voluntários partem do centro de operações visitam cada parceiro alimentar uma única vez e regressam ao centro de operações.

Para complementar a informação disponibilizada pelos responsáveis da *Re-Food* de Telheiras, foi feito o trabalho de campo. Todas as rotas foram feitas com as várias equipas de voluntários (a cada rota está associada uma equipa de voluntário) para que desta forma houvesse uma maior perceção de como as coisas se processam na realidade.

Neste capítulo serão apresentados os resultados computacionais obtidos considerando o modelo correspondente ao problema TSPTW implementado em linguagem *Mosel* e os resultados obtidos usando a heurística proposta implementada em linguagem C++. Além disso foram gerados de forma aleatória um conjunto de dados que simulam as condições das rotas da *Re-Food* de Telheiras.

O modelo matemático foi implementado no software *Xpress-Mosel*, enquanto a heurística, na linguagem de programação C++ do software *Visual Studio Express*.

Os testes computacionais foram executados em um computador com processador Intel Core i7, 1.73 GHz e de 8 GB de memória RAM.

5.1 Resultados - Modelo Matemático

Em seguida serão apresentadas as tabelas com as janelas temporais de cada parceiro alimentar em cada uma das rotas. Os resultados foram obtidos implementando a linguagem de programação *XPRESS-Mosel*. Relembrando que a recolha 3 + Distribuição não foi considerada neste estudo.

Rota 1 da Recolha 1

<i>Rota 1</i>	<i>Janelas Temporais</i>	
<i>Re-Food</i>	a_i	b_i
1- Anónimo	18:30	18:35
2- Xiag	18:35	18:40
3- Dandy	18:45	18:50
4- Academia dos Príncipes	19:00	19:10

Tabela 5.1: Janelas Temporais – Rota 1 da Recolha

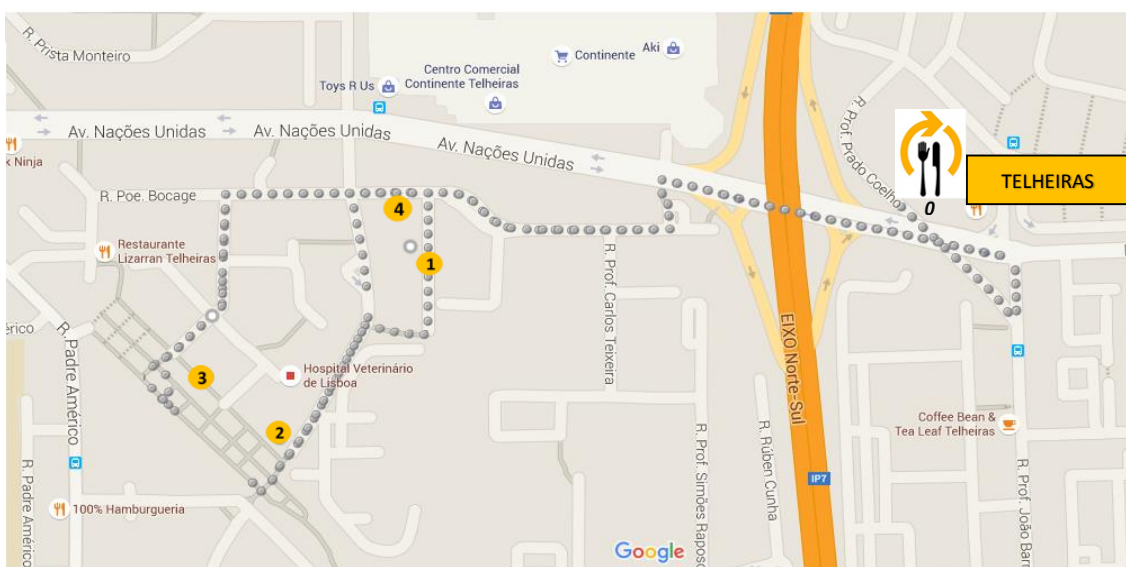


Imagem 5.1: Rota 1 da Recolha 1

Fonte: <https://www.google.pt/maps>

Resultado obtido: ①Re-Food → ①Anónimo → ②Xiag → ③Dandy → ④Academia dos Príncipes → ①Re-Food

Distância percorrida: 2356 Km

Tempo de execução: 0,3 segundos

Rota 2 da Recolha 1

<i>Rota 2</i>	<i>Janelas Temporais</i>	
<i>Re-Food</i>	<i>a_i</i>	<i>b_i</i>
5- Beb� Gourmet	19:30	19:40
6- Naboa	19:40	19:50
7- _@ Come	19:40	19:55
8- 3 Cereais	19:50	20:00
9- Bacalhau � Brás	20:10	20:15
10- Frut'area	20:05	20:20
11- P@o.Come	20:20	20:25

Tabela 5.2: Janelas Temporais – Rota 2 da Recolha

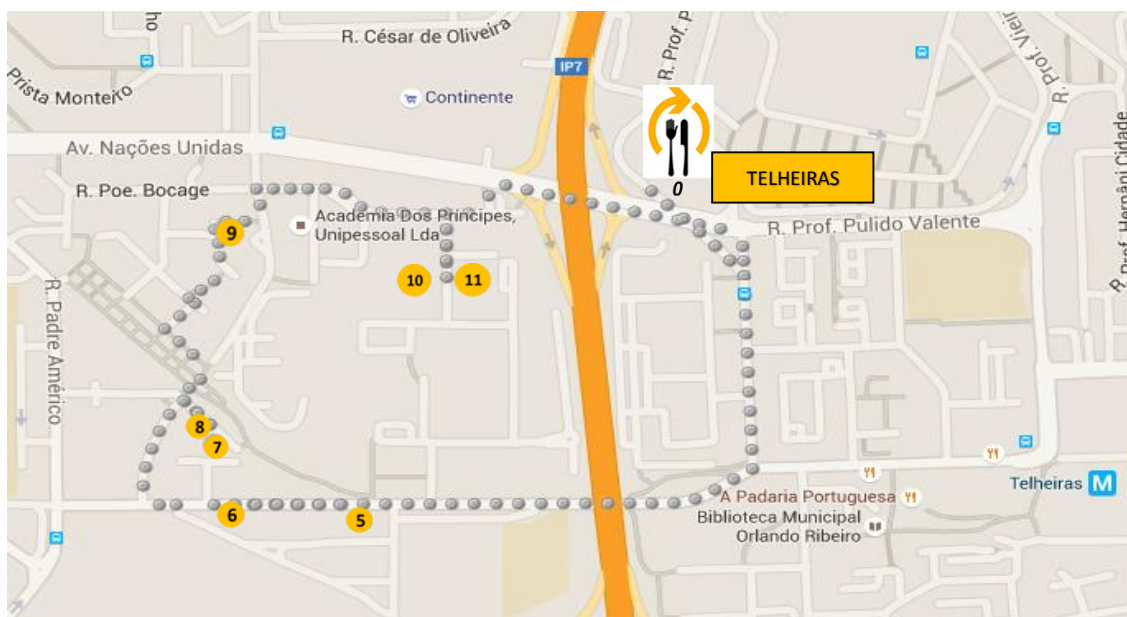


Imagem 5.2: Rota 2 da Recolha 1

Fonte: <https://www.google.pt/maps>

Resultado obtido: ① *Re-Food* → ⑤ *Bebé Gourmet* → ⑥ *Naboa* → ⑧ *3 Cereais* → ⑦ *@Come*
→ ⑨ *Bacalhau à Brás* → ⑩ *Frut'area* → ⑪ *P@o.Come* → ① *Re-Food*

Distância percorrida: 2839 Km

Tempo de execução: 0,1 segundos

Rota 1 da Recolha 2

Rota 1	Janelas Temporais	
<i>Re-Food</i>	a_i	b_i
1- Restaurante o Jacinto	19:10	19:15
2- Rest. Cantinho de Telheiras	19:15	19:20
3- Frutaria O António	19:20	19:25
4- Matilde Bazar do Pão	19:25	19:30
5- Sabores com Alma 1	19:30	19:40
6- Rest. Solar de Telheiras	19:35	19:45
7- Frutaria Aquário	19:40	19:50
8- Frutaria Fruta Doce	19:45	20:00
9- A Horta de Telheiras	19:50	20:05
10- Padaria Espiga Sol	20:00	20:10
11- Fatia Doce	19:50	20:05
12 - Sabores com Alma 2	20:00	20:10
13 - Loja da Comida	20:20	20:30

Tabela 5.3: Janelas Temporais – Rota 1 da Recolha 2

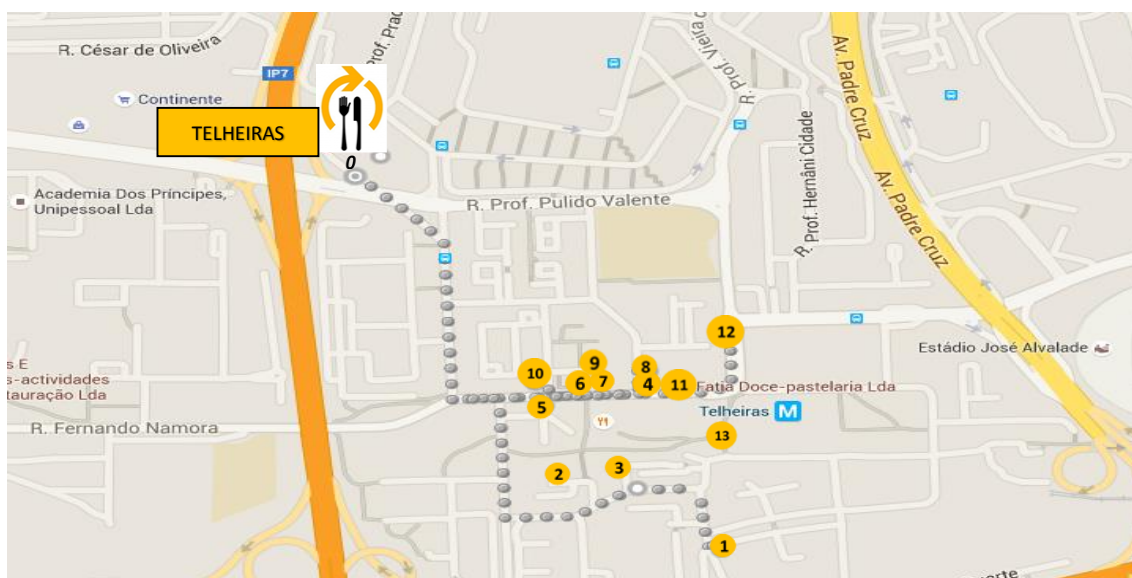


Imagem 5.3: Rota 1 da Recolha 2

Fonte: <https://www.google.pt/maps>

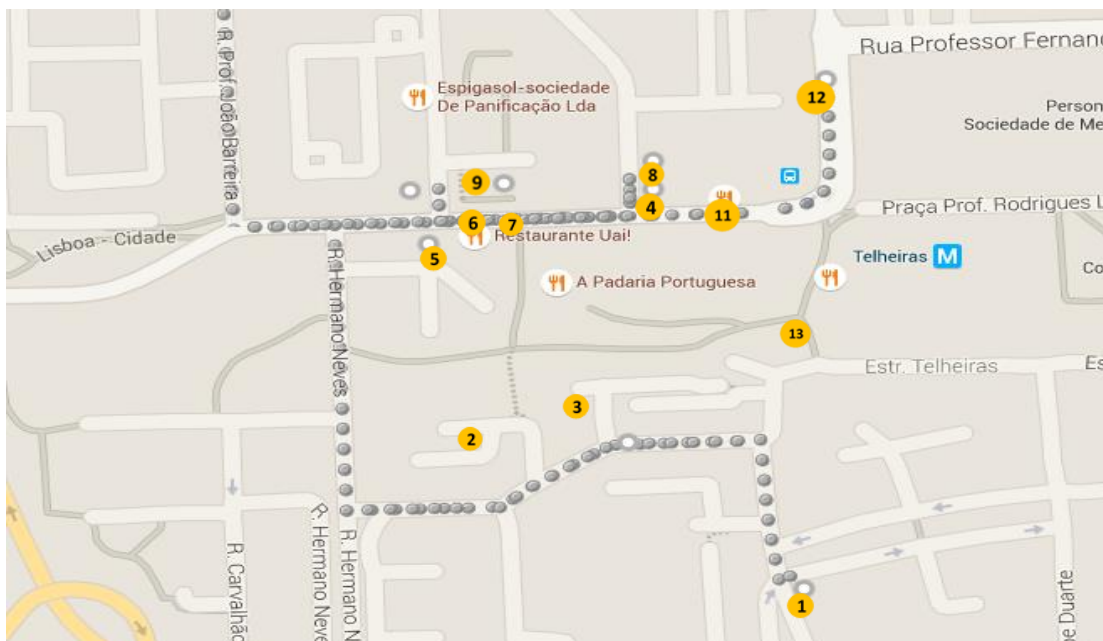


Imagem 5.4: Parte da Rota 1 da Recolha 2

Fonte: <https://www.google.pt/maps>

Resultados obtidos: ① *Re-Food* → ① Restaurante o Jacinto → ② Rest. Cantinho de Telheiras → ③ Frutaria O António → ④ Matilde Bazar do Pão → ⑥ Rest. Solar de Telheiras → ⑤ Sabores com Alma 1 → ⑧ Frutaria Fruta Doce → ⑦ Frutaria Aquário → ⑪ Fatia Doce → ⑨ A Horta de Telheiras → ⑩ Padaria Espiga Sol → ⑫ Sabores com Alma 2 → ⑬ Loja da Comida → ① *Re-Food*

Distância percorrida: 3506

Tempo de execução: 0,0 segundos

Rota 1 da Recolha 4

Rota 1	Janelas Temporais	
<i>Re-Food</i>	a_i	b_i
1 - Padaria Portuguesa	21:20	21:25
2 - Honorato	21:20	21:35
3 - Ten_to_Ten (Telheiras Norte)	21:55	22:00
4 - Ten_to_Ten (Telheiras)	22:00	22:15
5 - Stuppendo (Continente)	22:10	22:25
6 - UAI	21:30	21:40
7 - Casa das Bifanas (Continente)	22:10	22:30

Tabela 5.4: Janelas Temporais – Rota 1 da Recolha 4



Imagem 5.5: Rota 2 da Recolha 1

Fonte: <https://www.google.pt/maps>

Resultados obtidos: ①Re-Food → ①Padaria Portuguesa → ②Honorato → ⑥UAI → ③Ten_to_Ten (Telheiras Norte) → ④Ten_to_Ten (Telheiras) → ⑦Casa das Bifanas (Continente) → ⑤Stuppendo (Continente) → ① Re-Food

Distância percorrida: 6839 Km

Tempo de execução: 0,0 segundos.

Rota 2 da Recolha 4

Rota 2	Janelas Temporais	
<i>Re-Food</i>	a_i	b_i
6 - UAI	22:45	23:00
7 - Casa das Bifanas (Continente)	23:00	23:10
8 - Xiang	23:20	23:35
9 - Manga e Pimenta	23:30	23:48
10 - Kaffa Coffe Zone	23:35	23:52
11 - Coffe Bean & Tea Leaf	23:40	23:57
12 - Don Tapas	23:45	00:02
13 - T'Lounge	23:55	00:07
14 - Nosso Sítio	00:00	00:12

Tabela 5.5: Janelas Temporais – Rota 2 da Recolha 4



Imagem 5.6: Rota 2 da Recolha 4

Fonte: <https://www.google.pt/maps>

O trabalho de campo demonstrou que existem inúmeras situações que podem fazer com que o tempo despendido em cada ponto de recolha seja maior que o estimado. Só seria possível cumprir as restrições temporais se não houvesse nenhum atraso tanto da parte dos voluntários como da parte dos parceiros alimentares. E esta segunda razão é mais difícil de ser controlada. No trabalho de campo foi possível verificar que a rota 1 da recolha 2 foi a que apresentou maiores dificuldades em respeitar as janelas temporais impostas. De forma a ultrapassar esta dificuldade (não condiciona as restantes recolhas) a equipa de voluntários dividiu-se em dois grupos. Enquanto um grupo permaneceu num determinado parceiro alimentar o outro grupo deu continuidade ao percurso. Apesar de este não ser o padrão de recolha estabelecido pela *Re-Food* esta é uma prática utilizada normalmente na rota 1 da recolha 2, segundo o que foi relatado pela equipa de voluntários responsáveis por essa rota. Segundo eles, é da responsabilidade da equipa estar sensível a situações que possam ocorrer em qualquer uma das rotas, pois os horários são um fator primordial para a *Re-Food* assim como para os seus parceiros alimentares. Assim, é de extrema importância que a equipa de voluntários não cheguem muito antes da hora marcada e principalmente não cheguem depois da mesma.

Para as rotas da *Re-Food* optou-se por não usar a heurística, uma vez que as janelas temporais exigidas condicionam completamente a (quase) única possibilidade para a ordem pela qual os parceiros alimentares são visitados.

Para ter ideia como o modelo se comporta para problemas com janelas temporais menos restritivas gerou-se um conjunto de dados tentando simular o universo da *Re-Food*.

Para estes dados apresentam-se os resultados obtidos para o modelo implementado e para a heurística.

5.2 Geração de dados

Como já foi referido anteriormente, as janelas temporais dos parceiros alimentares da *Re-Food* de Telheiras são muito restritivas, condicionam muito as rotas que se podem obter.

De modo a obter mais resultados computacionais e poder concluir sobre a qualidade da heurística desenvolvida gerou-se aleatoriamente um conjunto de dados que tentam simular a realidade da *Re-Food*.

Considerou-se que o número de parceiros alimentares seria de 10 ou 15 uma vez que a zona geográfica coberta pela *Re-Food* não tem habitualmente mais do que este número de parceiros alimentares.

As localizações no plano dos parceiros alimentares e do centro de operações foram geradas aleatoriamente. Mas a sua abrangência geográfica é de 2 Km^2 . Serão calculadas as distâncias euclidianas para garantir a distância mínima em linha reta de ir do parceiro alimentar i para o parceiro alimentar j (será ignorada a orientação do grafo).

Através do Algoritmo de Floyd-Warshall é possível determinar o menor caminho entre os parceiros alimentares. Sendo n o número de parceiros alimentares, este algoritmo constrói sucessivamente n matrizes das distâncias, em que d_{ij} é a distância de ir do parceiro i ao parceiro j , com $i, j \in N$. Ou seja, através dos valores presentes na matriz das distâncias, em cada iteração este algoritmo constrói uma nova matriz que irá determinar o caminho (custo) mínimo entre cada par dos parceiros alimentares, que ainda não foi considerado na solução. Constrói-se seguidamente uma rede com densidade de 80%.

A matriz dos tempos de trajeto do parceiro alimentar i ao parceiro alimentar j , t_{ij} , com $i, j \in N$. Foi calculada segundo a fórmula:

$$t_{ij} = (d_{ij} * 60 \text{ minutos}) / 5000 \text{ metros}.$$

uma vez que assumimos que em média se percorrem 5Km numa hora.

As janelas temporais de cada parceiro alimentar também foram geradas de forma aleatória, mas considerou-se que estariam, também elas, divididas em grupos, simulando desta forma as condições das rotas da *Re-Food*.

Assumindo que o tempo necessário para completar cada rota não excede os 180 minutos e que o tempo de servir cada um dos parceiros alimentares é de 5 minutos.

Considerou-se que os a_i estão divididos em três grupos, sendo o a_i o instante de tempo em que se pode iniciar a recolha dos desperdícios alimentares no parceiro alimentar i , com $i \in N$. Os parceiros alimentares que estejam alocados ao primeiro grupo poderão iniciar a recolha entre os 0 e os 30 minutos após o início do percurso. Os que estiverem alocados ao grupo dois poderão iniciar a sua recolha entre os 35 e os 60 minutos após o início da recolha, por fim os que estiverem no

ultimo grupo terão que fazer a recolha dos excedentes alimentares junto dos parceiros entre os 65 minutos e os 90 após o inicio da rota.

Os b_i estão divididos em dois grupos, sendo o b_i o instante de tempo mais tarde para a recolha dos desperdícios alimentares no parceiro alimentar i , com $i \in N$. No primeiro grupo considerou-se que o valor do b_i seria determinado com base no a_i do parceiro alimentar i , o tempo de servir o parceiro alimentar i mais 40 minutos. No segundo grupo o calculo é o mesmo, mas considerou-se 120 minutos ao invés dos 40 minutos do primeiro grupo.

5.3 Resultados obtidos

Geraram-se para cada valor dos parceiros alimentares 5 instâncias. Os tempos de execução assim como os desvios em relação ao valor ótimo no caso da heurística apresentam-se nas tabelas abaixo.

Tempo para obter valor ótimo	Valor Ótimo	Valor Obtido pela heurística	Gap
0,4	7105	7323	3%
0,4	7174	7269	1%
0,1	8130	8353	3%
0	5893	6370	8%
0,2	8428	8428	0%

Tabela 5.1: Resultados para 10 parceiros

Tempo para obter valor ótimo	Valor Ótimo	Valor Obtido pela heurística	Gap
18,4	8422	10272	22%
280,2	11053	11915	8%
0,2	9221	9610	4%
47,8	11682	12731	9%
1,5	9179	13973	52%

Tabela 5.2: Resultados para 15 parceiros

Os tempos no caso da heurística foram aproximadamente zero. Verifica-se que embora a heurística seja muito rápida a obter soluções admissíveis em alguns casos tem um grande desvio em relação ao valor ótimo.

Capítulo 6 - Conclusões

Este trabalho teve como objetivos determinar de forma eficaz e eficiente rotas que minimizassem as distâncias totais percorridas pela equipa de voluntários, aplicado ao caso da *Re-Food* de Telheiras, uma organização portuguesa sem fins lucrativos constituída como IPSS (Instituição Particular de Solidariedade Social).

Para além da informação disponibilizada pelos responsáveis da *Re-Food*, foi feito o trabalho de campo, que permitiu o acompanhamento de cada uma das equipas. A cada rota está associada uma equipa de voluntários. Estes percorrerem um circuito, iniciando e terminando no centro de operações, passando por todos os parceiros alimentares apenas uma vez (para recolher os excedentes alimentares), respeitando as janelas temporais impostas pelos parceiros alimentares (assumindo que as capacidades não são excedidas). Com base nas características das rotas da *Re-Food*, este problema foi abordado com um Problema do Caixeiro Viajante com Janelas Temporais (*Traveling Salesman Problem with Time Windows – TSPTW*).

No que diz respeito à obtenção das rotas, construiu-se um modelo matemático, que implementado na linguagem algébrica de modelação *Mosel* usando o *software Xpress-Mosel*. Foi possível concluir que os resultados obtidos não foram muito diferentes dos percursos já praticados pela equipa de voluntários. Isso deve-se ao facto das janelas temporais impostas pelos parceiros alimentares serem tão restritas que existe uma (quase) única ordem pela qual os parceiros têm que ser visitados. O trabalho de campo demonstrou que existem algumas situações pontuais em que a equipa de voluntários se teve que dividir em grupos para conseguir cumprir os horários estabelecidos pelos parceiros alimentares. É de extrema importância que a equipa de voluntários respeite as janelas temporais para não interferir nos horários dos parceiros alimentares.

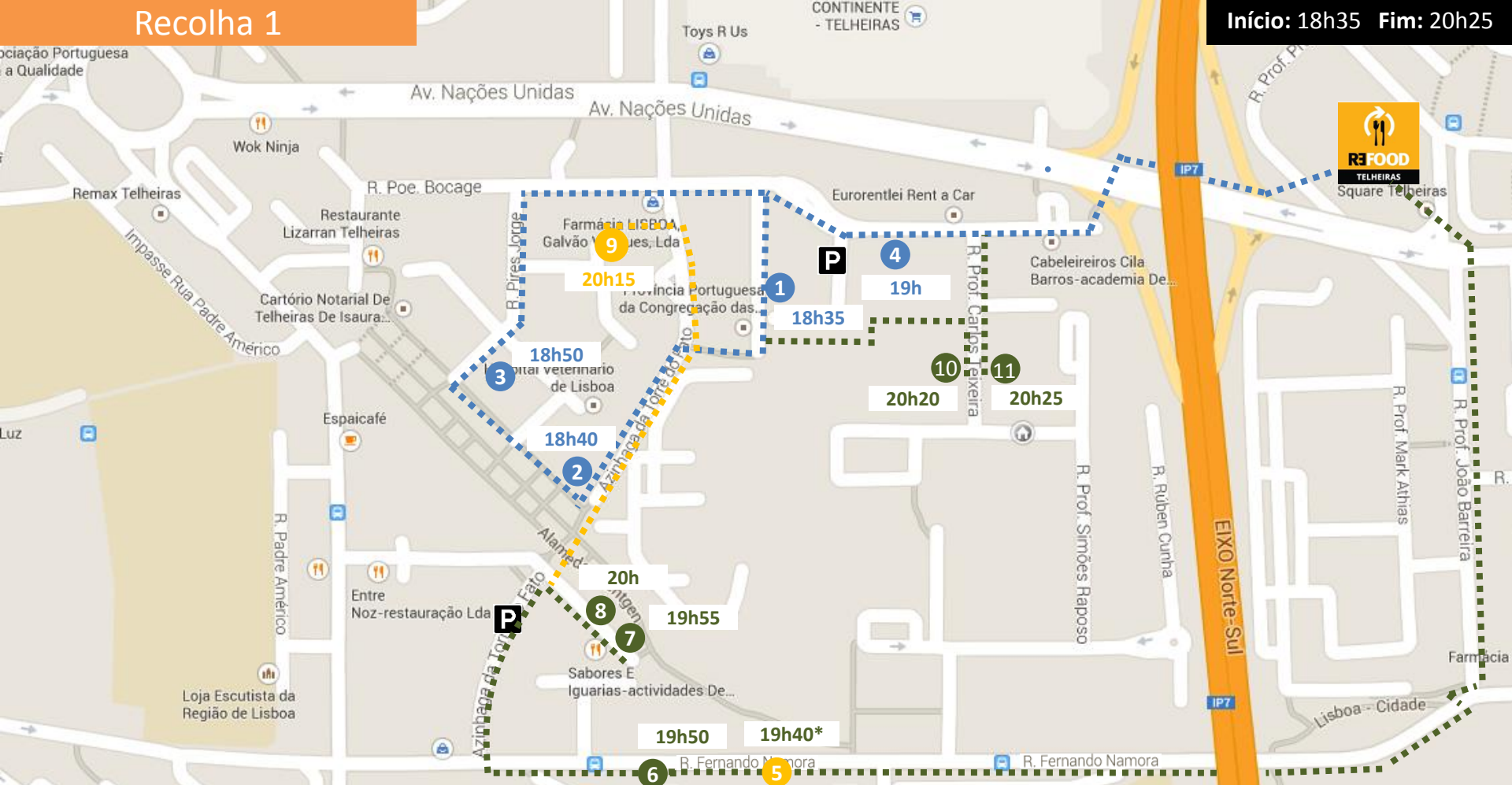
Além do modelo matemático implementou-se também uma heurística na linguagem de programação *C++*. A heurística não se usou nas rotas da *Re-Food* uma vez que as soluções exatas se obtinham com facilidade usando o modelo matemático.

Esta heurística é composta por duas fases, a primeira fase é uma fase construtiva onde é obtida uma solução admissível e na segunda fase tenta-se melhorar a solução obtida recorrendo a um método baseado na heurística *Large Neighborhood Search* (LNS), proposta por Shaw ([Shaw, 1997](#)). Na conceção da primeira fase desta heurística considerou-se que o mais importante seria obter uma

solução que fosse um circuito *Hamiltoniano* que respeitasse as restrições temporais, ao invés da distância total percorrida.

Os resultados computacionais apresentados foram obtidos usando dados gerados aleatoriamente tentando simular a realidade da *Re-Food*. Verificou-se que embora a heurística seja muito rápida a obter soluções admissíveis em alguns casos tem um grande desvio em relação ao valor ótimo.

ANEXOS



1 Creche Algodão Doce
R. Prof. Luis Cunha Gonçalves, 4
217151972

2 Xiang
Alameda Roentgen, 2
21 716 7684

3 Dandy
Alameda Roentgen, 4 A
Maria Natália, 914 544 760

4 Academia dos Príncipes
R. Prof. Moisés Amzalak, 9 B
Patrícia/Rita, 21 715 2444/5

5 Bebê Gourmet
R. Fernando Namora, 45C
Ana Salvador, 936 990 971
Não há recolha 2ªfeira

6 Naboa*
R. Fernando Namora, 35F
Álvaro, 912 788 200

7 @ Come
R. José Pontes, 5 B
Catarina, 21 714 2433

8 3 Cereais
R. José Pontes, 5 E
José Reis, 21 714 2406

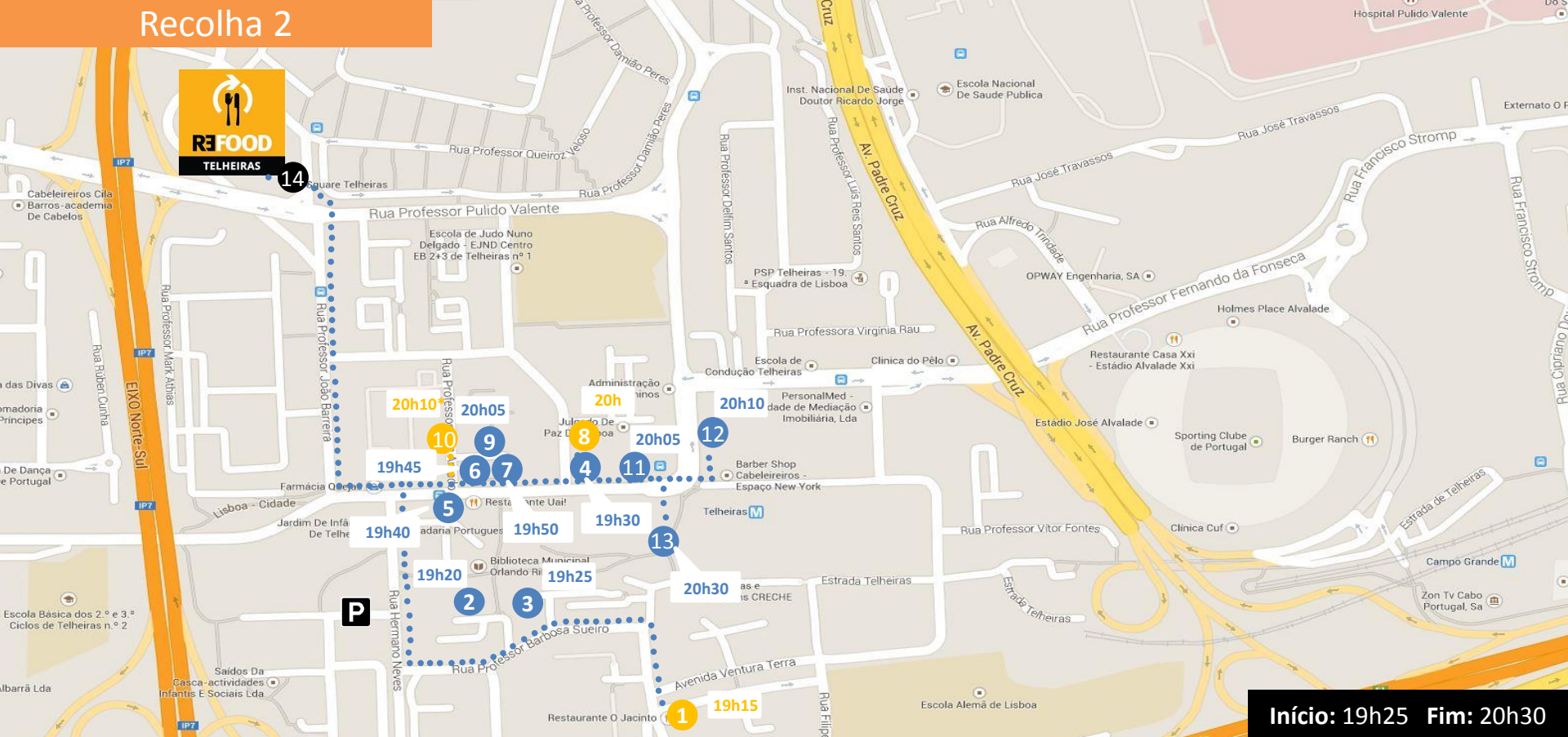
9 Bacalhau à Brás
R. Augusto Macedo, 8H
Filomena, 916 167 712
Não há recolha 2ªfeira

10 Frut'area
R. Prof. Carlos Teixeira, 3 E
Paulo Cabrita, 21 714 1445
P@o.Come
R. Prof. Carlos Teixeira, 4 A
José Martinho, 21 714 0398

P Recolha com carro
(possíveis lugares de
estacionamento)

Recolha a pé ou
de bicicleta
(proposta)

Recolha 2



Início: 19h25 Fim: 20h30

- | | | | | |
|---|---|---|--|---|
| <p>1 Restaurante O Jacinto
Av. Ventura Terra, 2
Luís Cardoso, 964 746 301
À 3ª e à 5ª feira</p> | <p>4 Matilde Bazar do Pão
Rua Prof. Mário Chicó, 2A
Matilde, 965 740 213</p> | <p>7 Frutaria Aquário
R. Prof. Francisco Gentil, 2D
Sr. Joaquim, 966 278 890</p> | <p>10 Padaria Espiga Sol*
R. Prof. Dias Amado, Lj. 1
Filipe, 21 757 4479
À 2ª e à 5ª feira (deixar tabuleiros)</p> | <p>13 Loja da Comida
Jardim Prof. Dr. António Sousa Franco, 5
Elisa Carvalho 929169697</p> |
| <p>2 Rest. Cantinho de Telheiras
R. Prof. Barbosa Sueio, 14J
Carlos Lucena</p> | <p>5 Sabores com Alma 1
Rua Prof. Francisco Gentil, 35C
Teresa</p> | <p>8 Frutaria Fruta Doce
Rua Prof. Mário Chicó
Li Xiao Hong
Só à 3ª feira</p> | <p>11 Fatia Doce
Rua Prof. Francisco Gentil, 22C
Teresa, 963 736 883</p> | <p>14 Melkia Spirit
Rua Mário Dionísio, 4A
Jackie, 914 113 070
Entrega pessoalmente no C.O.</p> |
| <p>3 Frutaria O António
R. Prof. Barbosa Sueio
Patrícia, 961 707 430</p> | <p>6 Rest. Solar de Telheiras
Rua Prof. Francisco Gentil, 2
José Araújo</p> | <p>9 A Horta de Telheiras
R. Prof. Dias Amado
Nuno Reis</p> | <p>12 Sabores com Alma 2
R. Prof. Vieira de Almeida
Teresa</p> | <p>● Recolha a pé ou de bicicleta (proposta)</p> |

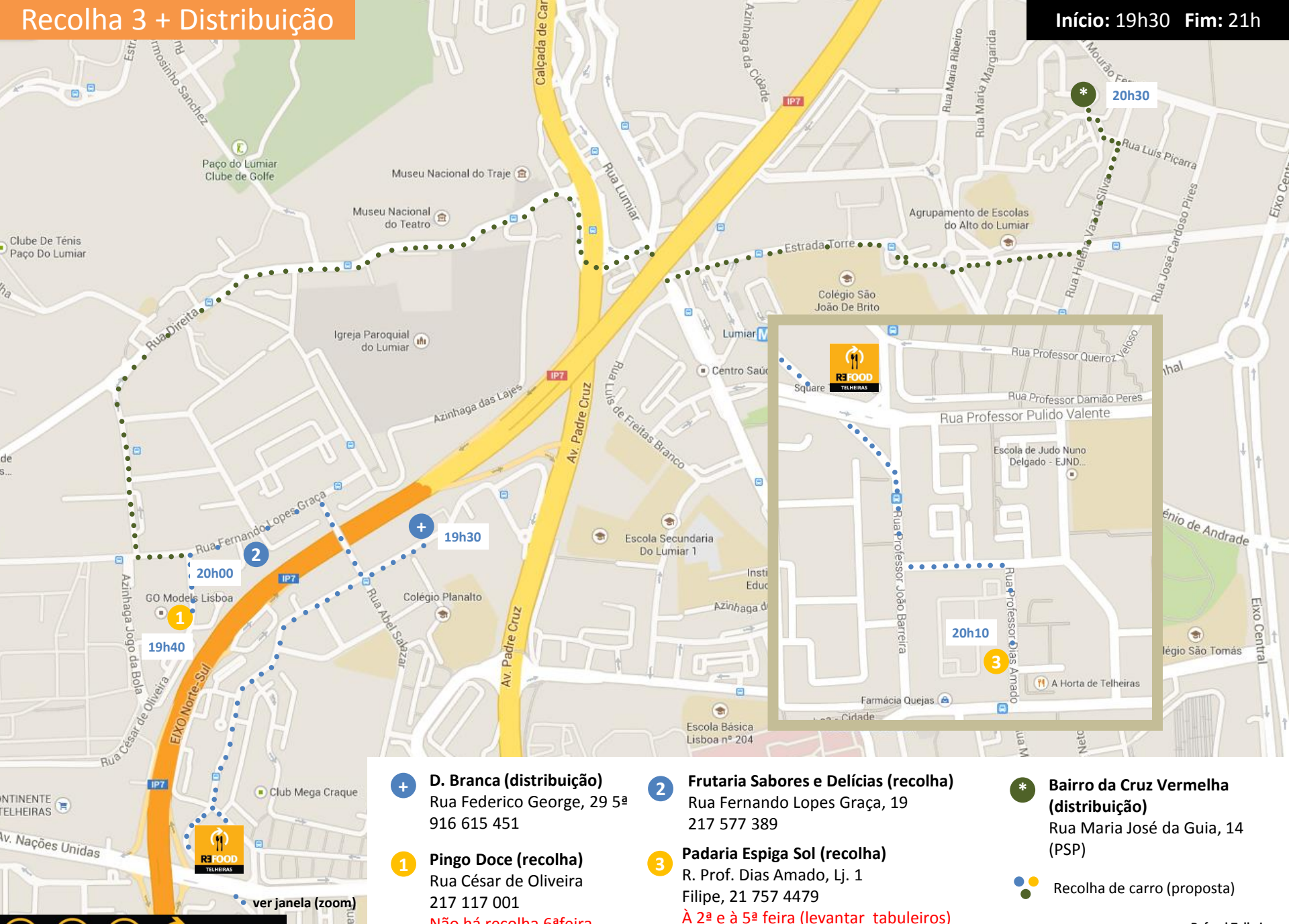
P Recolha com carro (possíveis lugares de estacionamento)



Última actualização da rota: 23/03/2015 v7

* Voluntário às 20h para preparar tabuleiros

Refood Telheiras
Morada: Rua Mário Dionísio, 2 E, 1600-128 Lisboa
Email: telheiras@re-food.org
Telefone: 966 512 003
Horário de funcionamento: 18.30h às 23.30h de 2ª a 6ª



D. Branca (distribuição)
Rua Frederico George, 29 5ª
916 615 451

Pingo Doce (recolha)
Rua César de Oliveira
217 117 001
Não há recolha 6ªfeira

Frutaria Sabores e Delícias (recolha)
Rua Fernando Lopes Graça, 19
217 577 389

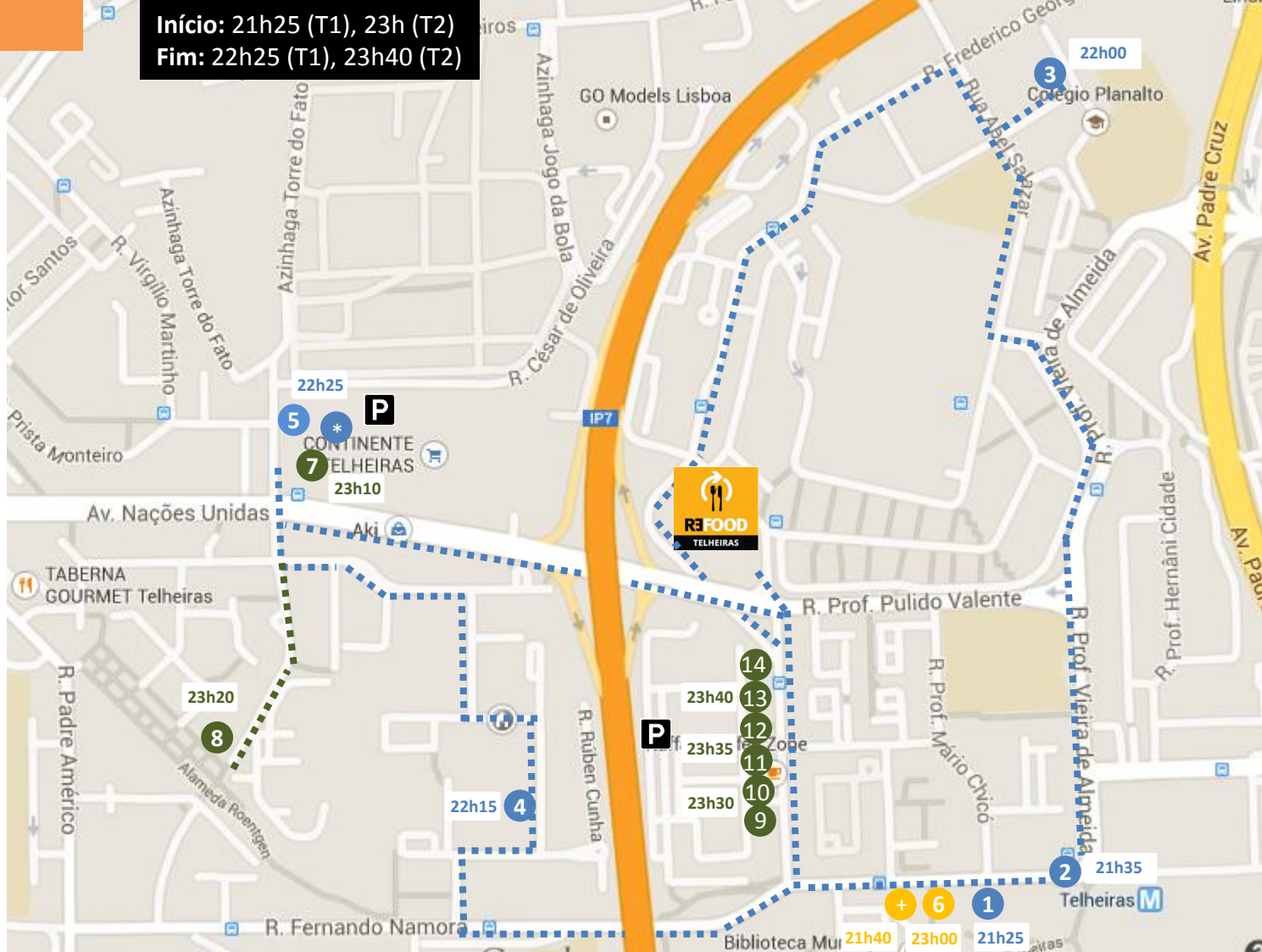
Padaria Espiga Sol (recolha)
R. Prof. Dias Amado, Lj. 1
Filipe, 21 757 4479
À 2ª e à 5ª feira (levantar tabuleiros)

Bairro da Cruz Vermelha (distribuição)
Rua Maria José da Guia, 14 (PSP)

Recolha de carro (proposta)

Recolha 4

Início: 21h25 (T1), 23h (T2)
Fim: 22h25 (T1), 23h40 (T2)



- 1 Padaria Portuguesa**
Rua Prof. Francisco Gentil, 29
925 299 435
- 2 Honorato**
Rua da Palmeira
213 460 248
- + UAI**
R. Prof. Francisco Gentil
913 247 035
Deixar caixas (fechado à 2ª)
- 3 Ten to Ten (Telheiras Norte)**
Rua Armindo Rodrigues, 34B
Filipe Rosa, 211 581 462
- 4 Ten to Ten (Telheiras)**
Rua Prof. Simões Raposo
937 970 745
- 5 Stuppendo (Continente)**
Av. das Nações Unidas
João Ponte, 217 162 292
- * Casa Bifanas (Continente)**
Av. das Nações Unidas
Deixar caixas
- 6 UAI**
R. Prof. Francisco Gentil
913 247 035
Fechado à 2ªfeira

- 7 Casa Bifanas (Continente)**
Av. das Nações Unidas
- 8 Xiang**
Alameda Roentgen, 2
21 716 7684
- 9 Manga e Pimenta**
Rua Prof. João Barreira, 7
- 10 Kaffa Coffee Zone**
Rua Prof. João Barreira, 11
- 11 Coffee Bean & Tea Leaf**
Rua Prof. João Barreira, 19
- 12 Don Tapas**
Rua Prof. João Barreira, 31
- 13 T'Lounge**
Rua Prof. João Barreira, 33
- 14 Nosso Sítio**
Rua Prof. João Barreira, 35



P Recolha com carro (possíveis lugares de estacionamento)

Última atualização da rota: 23/03/2015 v7

● ● Recolha a pé ou bicicleta (proposta)

Refood Telheiras
Morada: Rua Mário Dionísio, 2 E, 1600-128 Lisboa **Telefone:** 966 512 003
Email: telheiras@re-food.org **Horário de funcionamento:** 18.30h às 23.30h de 2ª a 6ª

Referencias Bibliográficas

Ahuja, R. K., Ergun, Ö., Orlin, J. B., e Punnen, A. P. (2002). A survey of very large-scale neighborhood search techniques. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1), 75-102.

Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvátal, V., e Cook. W. J., (1998). On the Solution of Traveling Salesman Problem. *Doc. Math.*, 3, 645-656.

Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvátal, V., e Cook. W. J., (2007). The traveling salesman problem: a computational study. *Princeton Series in Applied Mathematics*.

Ball, W. W. R., e Coxeter, H. S. M. (1987). Mathematical Recreations and Essays, 13th ed. New York: Dover, 262-266.

Baptista, P., Campos, I., Pires, I., e Vaz, S. (2012). Do campo ao garfo. *Desperdício alimentar em Portugal*.

Bell, J. E., e McMullen, P. R. (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced Engineering Informatics*, 18(1), 41– 48.

Bellmore, M., e Nemhauser, G. L. (1968). The travelling salesman problem: A survey. *Operations Reserarch*, 16(3), 538-558.

Ben-Dor, A., e Chor, B. (1997). On constructing radiation hybrid maps. *Journal of Computational Biology*, 4(4), 517-533.

Bland, R. G., e Shallcross D. E., (1989). Large traveling salesman problem arising from experiments in X-ray crystallography: a preliminary report on computation. *Operations Research Letters*, 8(3), 125-128.

Brundtland, G., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., e Okita, S. (1987). Our Common Future ('Brundtland report'). Disponível em: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

Brunner, K. M., Geyer, S., Jelenko, M., Weiss, W., e Astleithner, F. (2007). Ernährungsalltag im Wandel: Chancen für Nachhaltigkeit. Springer-Verlag.

Burkard, R. E. (1979). Traveling salesman and assignment problem: A survey. . *Annals of Discrete Mathematics*, 4, 193-215.

Caseira, M. A. S. (2012). Desenvolvimento de uma calculadora de resíduos alimentares.

Chlond, M. J. (2002). The traveling space telescope problem. *INFORMS Transaction on Education*, 3(1), 69–71.

Cook, W. J., Cunningham, W. H., Pulleyblank, W. R., e Schrijver, A. (1998). *Combinatorial Optimization* John Wiley and Sons. New York.

Croes, G. A. (1958). A method for solving traveling-salesman problems. *Operations research*, 6(6), 791-812.

Dantzig, G., Fulkerson, R., e Johnson, S. (1954). Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Journal of the operations research society of America*, 2(4), 393-410.

Defra, (2006). Waste in the UK. from <http://www.defra.gov.uk/environment/waste/about/index.htm>.

Desrosiers, J. Y. Dumas, M.M. Solomon, F. Soumis. (1995). Time constrained routing and scheduling. *Handbooks in operations research and management science*, 8, 54-69.

Desrosiers, J., Pelletier, P., e Soumis, F. (1983). Plus court chemin avec contraintes d'horaires. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 17(4), 357-377.

Dreissig, W., e Uebaeh, W. (1990). Personal communication. Linear programming with pattern constraints. *Doctoral dissertation, PhD thesis, Department of Economics, Harvard University, Cambridge*, 16 (6), B373–83.

Dumas, Y., Desrosiers, J., Gelinas E., e Solomon M. M. (1995). An optimal algorithm for the traveling salesman problem with time window. *Operations Research*, 43 (2), 367–371.

Dumitrescu, I., e Stützle, T. (2003). A survey of methods that combine local search and exact algorithms. Technical Report AIDA-03-07, FG Intellektik, FB Informatik, TU Garmstadt, Germany. Submitted to EJOR.

da Cunha, C., de Oliveira Bonasser, U., e Abrahão, F. T. M. (2002). Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante. In *XVI Congresso da Anpet*. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/ptr/ptr/docentes/cbcunha/files/2-opt_TSP_Anpet_2002_CBC.pdf.

Ellram, L. M., Stock, J. R., Lambert, D. M., e Grant, D. B. (2006). Fundamentals of Logistics Management-European Edition.

Evans, A. (2009). The feeding of the nine billion.

FAO. (2013a). Food wastage footprint: Impact on natural resources: Summary report. Rome. Retrieved from www.fao.org/publications

Fischetti, M., e Toth, P. (1997). A polyhedral approach to the asymmetric traveling salesman problem. *Management Science*, 43(11), 1520-1536.

Focacci F., Lodi A., e Milano, M., (2002). Embedding relaxations in global constraints for solving T SP and T SP TW, *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 34, 291–311.

Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., e Stan, M., (1998). A generalized insertion heuristic for the traveling salesman problem with time windows, *Operations Research*, 43(3), 330–335.

Gendreau, M., Laporte, G., e Vigo, D. (1999). Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery. *Computers & Operations Research*, 26(7), 699-714.

Gendreau, M., Pesant, G., Potvin, J. Y., e Rousseau, J. M., (1998). An exact constraint logic programming algorithm for the traveling salesman problem with time windows, *Transportation Science*, 32(1), 12–29.

Gilmore, P., e Gomory, R. (1964). Sequencing a one state-variable machine a solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, 12, 655–679.

Godfray, Charles J. H., et al. (2010). Segurança alimentar: o desafio de alimentar 9 bilhões de pessoas. *Ciência*, 812-818.

Goldbarg, M. C., e Luna, H. P., (2000). Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos, 3.

Grötschel, M., Jünger, M. e Reinelt, G. (1991). Optimal Control of Plotting and Drilling Machines: A Case Study. *Mathematical Methods of Operations Research*, 35(1), 61-84.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Snnesson, U., van Otterdijk, R., e Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste*. Duesseldorf, Germany.

Gutin, G., Jakubowicz, H., Ronen, S. e Zverovitch, A. (2005). Seismic vessel problem. *Communications in DQM*, 13–20.

Helsgaun, K. (2000). An effective implementation of the Lin–Kernighan traveling salesman heuristic. *European Journal of Operational Research*, 126(1), 106-130

Johnson, D. S., e McGeoch, L. A. (1997). The traveling salesman problem: A case study in local optimization. *Local search in combinatorial optimization*, 1, 215-310. Disponível em: <http://www.csc.kth.se/include/transferpage/transfer.php?target=/utbildning/kth/kurser/DD2440/avalg14/TSP-JohMcg97.pdf>

Jünger al., (1995). The Traveling Salesman Problem. In M. Ball, T. Magnanti, C.L. Monma e G. L. Nemhauser (eds.) *Handbooks in Operations Research and Management Sciences: Networks*. North-Holland.

Karp, R. M., (1975). On the complexity of combinatorial problems. *Network*, 5, 45-68.

Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59 (3), 345-358.

Lenstra, J. K., e Rinnooy Kan, A. H. G. (1974). Some simple applications of the traveling salesman problem. *Operational Research Quarterly*, 26, 717–33.

Madsen, O. (1988). An application of traveling-salesman routines to solve pattern-allocation problems in the glass industry. *Journal of the Operational Research Society*, 39 (3), 249–256.

Magirou, V. F. (1986). The efficient drilling of printed circuit boards. *Interfaces*, 16(4), 13–23.

Maistro, L. C. (2000). Estudo do índice de resto ingestão em serviços de alimentação. *Nutrição em Pauta*. 8(45), 40-43.

Martins, M. T. S., Epstein, M., e Oliveira, D. R. M. D. (2006). Parâmetros de controle e/ou monitoramento da qualidade do serviço empregado em uma unidade de alimentação e nutrição. *Hig. aliment*, 20 (142), 52-57.

Matai, R., Mittal, M. L., e Singh, S. (2010). Traveling salesman problem: an overview of applications, formulations, and solution approaches. *INTECH Open Access Publisher*. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/traveling-salesman-problem-theory-and-applications/traveling-salesman-problem-an-overview-of-applications-formulations-and-solution-approaches>

Menger K. (1932). Das botenproblem. *Ergebnisse Eines Mathematischen Kolloquiums*, 2(4), 11–12.

Murty, K.G., (1985). Linear and combinatorial programming. *Robert E. Krieger*, Florida.

Nils, J. A. N. (1982). Principles of artificial intelligence. *Morgan kaufmann*, 1.

Papadimitriou, C. H. e Steiglitz, K., (1982). *Combinatorial Optimization*. Wiley, New York.

Park, J., e Kim, B. I. (2010). The school bus routing problem: A review. *European Journal of operational research*, 202(2), 311-319.

Pearn, W., e Chou, J. (1999). Improved solutions for the Chinese postman problem on mixed networks. *Computers & Operations Research*, 26(8), 819 – 827.

Pisinger, D., e Ropke, S. (2010). Large neighborhood search. In *Handbook of Metaheuristics*. Springer US. Disponível em: <http://www.diku.dk/users/sropke/Papers/lns.pdf>

Plante, R. D., Lowe, T.J., e Chandrasekaran, R. (1987). The product matrix traveling salesman problem: an application and solution heuristics. *Operations Research*, 35, 772-783.

Pohle, T., Pampalk, E., e Widmer, G. (2005). Generating similarity-based playlists using traveling salesman algorithms. In *Proceedings of the 8th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-05)*, 220–225.

Prestes, Á. N. (2006). Uma análise experimental de abordagens heurísticas aplicadas ao problema do caixeiro viajante. (Doctoral dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Norte). Disponível em : <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/17962/1/AlvaroNP.pdf>

Ratliff, H.D., e Rosenthal, A.S. (1983). Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case for the Travelling Salesman Problem. *Operations Research*, 31, 507-521.

Re-Food. Disponível em: <http://www.re-food.org/blog/>

Reinelt, G. (1994). The traveling salesman: computational solutions for TSP applications. *Springer-Verlag*.

Robinson, J. (1949). On the Hamiltonian game (a traveling salesman problem). Technical Report RM-303, RAND PROJECT AIR FORCE ARLINGTON VA.

Ropke, S., e ePisinger, D. (2006a). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Science* 40, 455-472.

Savelsbergh, M.W.P. (1985). Local search in routing problems with time windows. *Annals of Operations Research*, 4, 285-305.

Shaw, P. (1997) A new local search algorithm providing high quality solutions to vehicle routing problems. *APES Group, Dept. of Computer Science, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK.*

Silva e Urrutia (2010). A General VNS heuristic for the traveling salesman problem with time windows. *Discrete Optimization*, 7, 203 - 211

Solomon, M.M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, *Operations Research* 35, 254-265.

Velloso, R. (2002). Comida é o que não falta. *Super Interessante*. nº 174:48-51.

Zbigniew M. (1994). Genetic algorithms + data structures = evolution programs. *Springer Verlag*, 2.